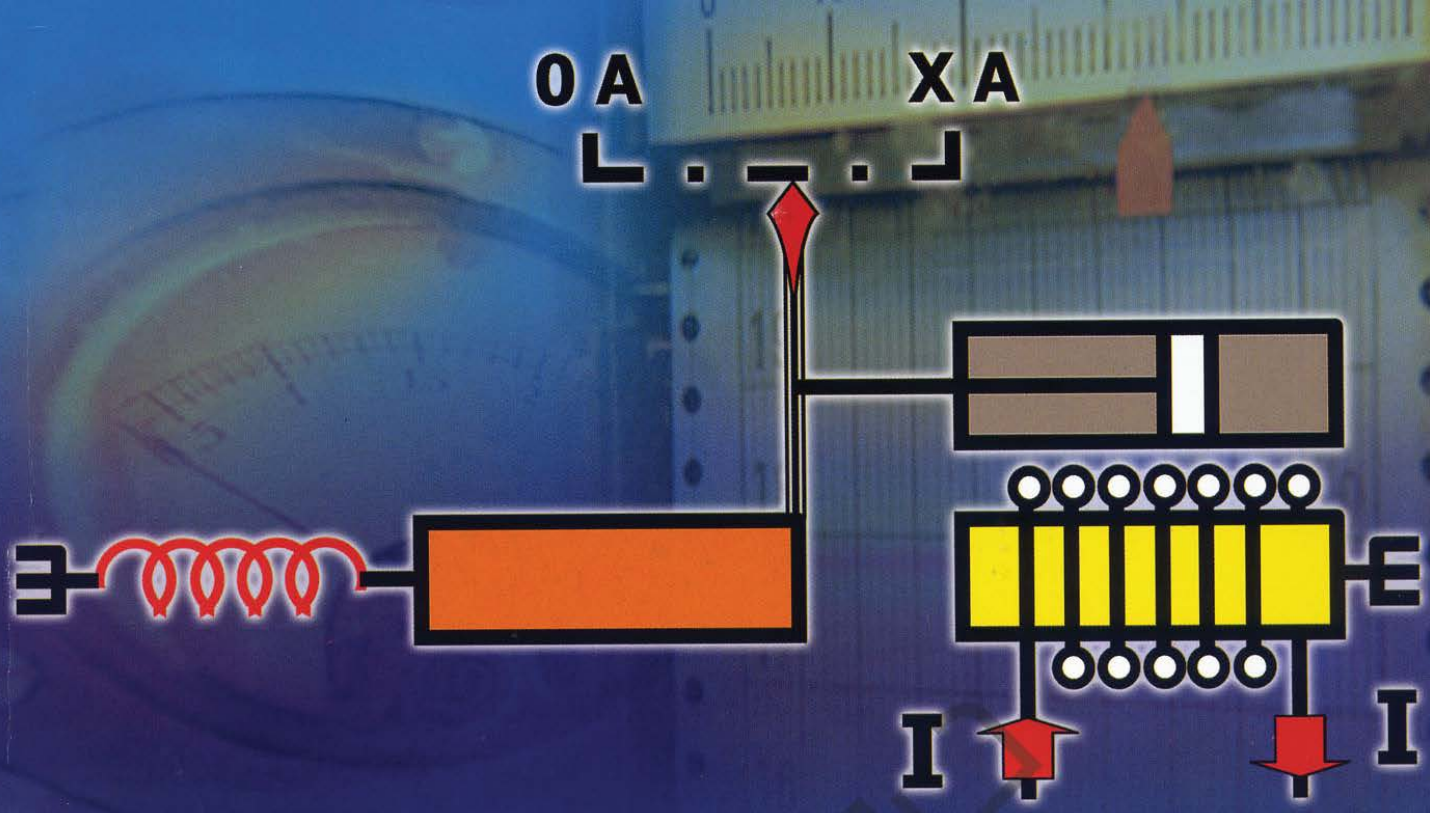


ถ้าคุณคิดว่า **"เครื่องวัดไฟฟ้า"** เป็นวิชาที่ยากมากๆ ไม่น่าสนใจเลย ไม่เห็นจะรู้เรื่องเลย ลองมาอ่านหนังสือเล่มนี้ดูซิครับ แล้วคุณจะมีความรู้สึกใหม่ว่า **"เครื่องวัดไฟฟ้า"** ไม่เห็นจะยากเลยง่ายนิดเดียว น่าสนใจ น่าติดตามอีกทั้งยังท้าท้ายอีกด้วย

เครื่องวัดไฟฟ้า

(2104-2104) ภาคทฤษฎี

มงคล ธุระ
วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่

ISBN-974-7507-19-6

เครื่องวัดไฟฟ้า

(2104-2104) ภาคทฤษฎี

ตัวอย่าง

โดย

มงคล ธุระ

วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. ได้รับอนุญาต
อย่างเป็นลายลักษณ์อักษร จากเจ้าของลิขสิทธิ์
ให้เป็นผู้พลิตและจำหน่ายหนังสือเล่มนี้
ในรูปแบบสื่ออิเล็กทรอนิกส์

คำนำ

ผู้เขียนหนังสือ เครื่องวัดไฟฟ้า เล่มนี้ปรารถนาที่จะให้ผู้เรียนวิชาเครื่องวัดไฟฟ้าได้เข้าใจในเนื้อหาที่ เกี่ยวกับเครื่องวัดไฟฟ้าตลอดจนปรารถนาที่จะทำให้ผู้เรียนมี เจตคติที่ดีต่อวิชาเครื่องวัดไฟฟ้าอีกด้วย ทั้งนี้

เพราะว่าวิชาเครื่องวัดไฟฟ้าเป็นวิชาชีพพื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งวิชาหนึ่งของสาขาวิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) และหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา รวมทั้งหลักสูตรอื่นๆ

วิชาเครื่องวัดไฟฟ้าเป็นวิชาที่ผู้เรียนส่วนใหญ่ต่างก็เห็นว่าเป็นวิชาที่เข้าใจได้ยากมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าขาดเอกสารหรือตำราที่จะทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้อย่างง่ายดาย จนทำให้ผู้เรียนทุกคนรู้สึกว่าวิชานี้เป็นยาขมหม้อใหญ่เลยทีเดียว (รวมทั้งผู้เขียนด้วย)

เมื่อผู้เขียนได้มีโอกาสทำการสอนวิชาเครื่องวัดไฟฟ้าผู้เขียนได้พยายามพัฒนา ปรับปรุง หนังสือเครื่องวัดไฟฟ้าจนสามารถจัดพิมพ์ได้เป็นครั้งแรกกับสำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) หลังจากนั้นผู้เขียนจึงทำการปรับปรุงเพิ่มเติมและจัดทำเป็นผลงานทางวิชาการเพื่อเสนอขอกำหนดตำแหน่งเป็นอาจารย์ 3 ระดับ 9 และได้รับการอนุมัติให้ดำรงตำแหน่งเป็นอาจารย์ 3 ระดับ 9 เมื่อวันที่ 8 เมษายน 2547 ที่ผ่านมา

ในหนังสือเครื่องวัดไฟฟ้าเล่มนี้ผู้เขียนได้นำเสนอในเรื่องหลักการเบื้องต้น โครงสร้าง หลักการทำงาน การประยุกต์สร้างเป็นเครื่องวัดไฟฟ้า สัญลักษณ์ทางโครงสร้างและข้อดีข้อเสียของเครื่องวัดไฟฟ้าชนิดต่างๆ ที่ประกอบด้วยภาพของจริงตลอดจนภาพเขียนพร้อมคำอธิบายอย่างละเอียดจึงทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้เนื้อหาวิชาเครื่องวัดไฟฟ้าที่เข้าใจได้อย่างง่ายดาย

เมื่อผู้เรียนเรียนรู้วิชาเครื่องวัดไฟฟ้าได้เข้าใจอย่างง่ายๆ แล้วย่อมทำให้มีความรู้สึกที่ดีต่อวิชาเครื่องวัดไฟฟ้าอย่างแน่นอน ดังนั้นจึงนับได้ว่าหนังสือเล่มนี้ได้บรรลุตามความปรารถนาของผู้เขียนแล้ว

นายมงคล ธุระ

1 เมษายน 2547

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
กิจกรรมการเรียนการสอนภาคทฤษฎีใช้ขั้นตอนการสอนแบบ MIAP	ค
จุดมุ่งหมายของหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 (ปรับปรุง 2546)	ง
รายละเอียดวิชาเครื่องวัดไฟฟ้า (2104-2104)	จ
หน่วยที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดไฟฟ้า	1
หน่วยที่ 2 ความคลาดเคลื่อน ความถูกต้อง ความเที่ยงตรงและความไว	23
หน่วยที่ 3 เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดแกนเหล็กเคลื่อนที่	36
หน่วยที่ 4 เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดขดลวดเคลื่อนที่	57
หน่วยที่ 5 การขยายย่านวัดแรงดันไฟฟ้าของโวลต์มิเตอร์	69
หน่วยที่ 6 การขยายย่านวัดกระแสไฟฟ้าของแอมมิเตอร์	79
หน่วยที่ 7 ผลกระทบเนื่องจากแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์	91
หน่วยที่ 8 เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเรียงกระแสไฟฟ้า	104
หน่วยที่ 9 โอห์มมิเตอร์	120
หน่วยที่ 10 การขยายย่านวัดความต้านทานไฟฟ้าของโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม	140
หน่วยที่ 11 เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดอิเล็กทรอไดนามิกแบบมีแกนเหล็ก	157
หน่วยที่ 12 เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดอิเล็กทรอไดนามิกแบบไม่มีแกนเหล็ก	171
หน่วยที่ 13 เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดขดลวดขวางแบบมีแกนเหล็ก	185
หน่วยที่ 14 เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดขดลวดขวางแบบไม่มีแกนเหล็ก	197
หน่วยที่ 15 เครื่องวัดเพาเวอร์แฟกเตอร์	208
หน่วยที่ 16 เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ	226
หน่วยที่ 17 เครื่องวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า 1	250
หน่วยที่ 18 เครื่องวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า 2	265
หน่วยที่ 19 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบดิจิตอลและการบำรุงรักษาเครื่องวัดไฟฟ้า	280
บรรณานุกรม	298

ตัวอย่าง

กิจกรรมการเรียนการสอนภาคทฤษฎีใช้ขั้นตอนการสอนแบบ MIAP

กิจกรรมครู	กิจกรรมนักเรียน
ขั้นทดสอบก่อนเรียน (10 นาที) เป็นขั้นที่ครูทดสอบความรู้พื้นฐานของนักเรียนเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการเรียนรู้หลังเรียนที่วัดได้จากแบบทดสอบหลังเรียน	**ขั้นทดสอบก่อนเรียน** เป็นขั้นที่นักเรียนลงมือทำแบบทดสอบก่อนเรียน
ขั้นที่ 1 ขั้นสนใจปัญหา (Motivation) (5 นาที) เป็นขั้นที่ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยนำหัวใจของเนื้อหาของแต่ละหน่วยมาสร้างให้เกิดปัญหาที่น่าสนใจหรือน่าติดตามเพื่อค้นหาคำตอบในขั้นการสอน	**ขั้นที่ 1 ขั้นสนใจปัญหา** เป็นขั้นที่นักเรียนมีส่วนร่วม เช่น รับฟัง โต้ตอบ คิดค้นหาคำตอบและเหตุผลจากคำถามของครู
ขั้นที่ 2 ขั้นศึกษาข้อมูล (Information) (45 นาที) เป็นขั้นตอนที่ครูให้ข้อมูลเนื้อหาของแต่ละหน่วยตามหัวข้อที่กำหนดไว้ในแผนการสอน โดยใช้วิธีถามตอบร่วมกับสื่อการสอน ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนการสอน จากนั้นครูจึงมอบหมายให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบทเพื่อเป็นการทบทวน ฝึกฝนการเรียนรู้ในแต่ละหน่วยการเรียน สุดท้ายครูและนักเรียนร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัด	**ขั้นที่ 2 ขั้นศึกษาข้อมูล** เป็นขั้นที่นักเรียนตั้งใจฟัง จดบันทึกใจความสำคัญและซักถามโต้ตอบกับครูเมื่อเกิดข้อสงสัยหรือไม่เข้าใจ และนักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบท สุดท้ายนักเรียนและครูร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัด
ขั้นที่ 3 ขั้นพยายาม (Application) (20 นาที) เป็นขั้นที่ครูมอบหมายให้นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียนเพื่อตรวจสอบผลการเรียนรู้ของแต่ละหน่วยการสอนและเพื่อใช้เปรียบเทียบกับความรู้พื้นฐานของผู้เรียนแต่ละคนที่ได้จากแบบทดสอบก่อนเรียน	**ขั้นที่ 3 ขั้นพยายาม** เป็นขั้นที่นักเรียนลงมือทำแบบทดสอบหลังเรียน
ขั้นที่ 4 ขั้นสำเร็จ (Progression) (10 นาที) เป็นขั้นที่ครูเฉลยแบบทดสอบหลังเรียนร่วมกับนักเรียนเพื่อปรับแก้ความเข้าใจคลาดเคลื่อนของนักเรียน	**ขั้นที่ 4 ขั้นสำเร็จ** เป็นขั้นที่นักเรียนร่วมกับครูเฉลยแบบทดสอบหลังเรียนเพื่อรับทราบผลสำเร็จของนักเรียนและเพื่อปรับแก้ความเข้าใจคลาดเคลื่อนของนักเรียน

e-book

จุดมุ่งหมายของหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 (ปรับปรุง 2546)

1. เพื่อให้มีความรู้ ทักษะและประสบการณ์ในงานอาชีพตรงตามมาตรฐานวิชาชีพ นำไปปฏิบัติงานอาชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเลือกวิถีการดำรงชีวิตและประกอบอาชีพได้อย่างเหมาะสมกับตน สร้างสรรค์ความเจริญต่อชุมชน ท้องถิ่นและประเทศชาติ
2. เพื่อให้เป็นผู้มีปัญญา มีทักษะในการจัดการ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ใฝ่เรียนรู้ เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตและการประกอบอาชีพ สามารถสร้างอาชีพ และพัฒนาอาชีพให้ก้าวหน้าอยู่เสมอ
3. เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่ออาชีพ มีความมั่นใจ และภาคภูมิใจในวิชาชีพที่เรียน รักงาน รักหน่วยงาน สามารถทำงานเป็นหมู่คณะได้ดี โดยมีความเคารพในสิทธิและหน้าที่ของตนเองและผู้อื่น
4. เพื่อให้เป็นผู้มีพฤติกรรมทางสังคมที่ดีงาม ทั้งในการทำงาน การอยู่ร่วมกัน มีความรับผิดชอบต่อครอบครัว หน่วยงาน ท้องถิ่นและประเทศชาติ อุทิศตนเพื่อสังคม เข้าใจและเห็นคุณค่าของศิลปวัฒนธรรม ภูมิปัญญาท้องถิ่น รู้จักใช้และอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดี
5. เพื่อให้มีบุคลิกที่ดี มีมนุษยสัมพันธ์ มีคุณธรรม จริยธรรมและวินัยในตนเอง มีสุขภาพอนามัยสมบูรณ์เหมาะสมกับงานอาชีพนั้น ๆ
6. เพื่อให้มีความตระหนักและมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจ สังคม การเมืองของประเทศและโลกปัจจุบัน มีความรักชาติ สำนึกในความเป็นไทย เสียสละเพื่อส่วนร่วม ดำรงรักษาไว้ซึ่งความมั่นคงของชาติ ศาสนา พระมหากษัตริย์และการปกครองระบอบประชาธิปไตย อันมีพระมหากษัตริย์เป็นประมุข

ตัวอย่าง

รายละเอียดวิชาเครื่องวัดไฟฟ้า (2104-2104)

1. ชื่อวิชา เครื่องวัดไฟฟ้า รหัส 2104-2104 จำนวน 4 ชั่วโมง 2 หน่วยกิต ต่อ สัปดาห์หลักสูตรระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 (ปรับปรุง 2546) สาขาวิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สาขางานไฟฟ้ากำลัง

2. จุดประสงค์รายวิชา

2.1 เพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจหลักการทำงานของเครื่องวัดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

2.2 เพื่อให้มีความสามารถต่อเครื่องวัดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ไปใช้งาน

2.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องวัดไฟฟ้า

2.4 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการทำงาน

3. คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติหลักการทำงาน วิธีการใช้โวล์ตมิเตอร์ แอมมิเตอร์ โอห์มมิเตอร์ วัตต์มิเตอร์ กิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ เครื่องวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าและเครื่องวัดไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ ค่าความคลาดเคลื่อนและการบำรุงรักษา

4. มาตรฐานรายวิชา

4.1 มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องวัดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

4.2 ใช้เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ วัดค่าทางไฟฟ้า

4.3 มีกิจนิสัยที่ดีในการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องวัดไฟฟ้า

5. สมรรถนะวิชาชีพ

หลังจากเรียนวิชาเครื่องวัดไฟฟ้า รหัส 2104-2104 จบแล้วนักเรียนมีสมรรถนะดังนี้

ด้านความรู้ (Knowledge)	ด้านคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม คุณลักษณะ (Attitude)	ทักษะกระบวนการ (Process)
อธิบายหลักการทำงานและวิธีการใช้งานของเครื่องวัดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ได้	สร้างกิจนิสัยที่ดีในการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องวัดไฟฟ้าได้ตลอดจนสามารถสร้างกิจนิสัยที่ดีในการทำงานได้	ต่อใช้งานของเครื่องวัดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ได้ขยายย่านวัดไฟฟ้าแบบต่าง ๆ ได้

ตัวอย่าง

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดไฟฟ้า

สาระการเรียนรู้

หน่วยที่ 1 ประกอบไปด้วยหัวข้อเรื่องต่อไปนี้

1.1 การวัดทางไฟฟ้า (Electrical Measurement)

1.2 เครื่องวัดไฟฟ้า (Electrical Instrument)

1.3 ประเภทของเครื่องวัดไฟฟ้า (Type of Electrical Instrument)

1.4 แรงบิดของเครื่องวัดไฟฟ้า (Torque of Electrical Instrument)

1.5 ขนาดของแรงบิดหน่วง (Damping Torque)

1.6 สัญลักษณ์ต่าง ๆ ของเครื่องวัดไฟฟ้า (Electrical Instrument Symbol)

สาระสำคัญ

การวัดทางไฟฟ้าเป็นการเปรียบเทียบปริมาณทางไฟฟ้าที่ต้องการวัดกับปริมาณไฟฟ้ามาตรฐาน โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวัดไฟฟ้าซึ่งมีแรงบิด 3 ชนิด ได้แก่ แรงบิดบ่ายเบน แรงบิดควบคุมและแรงบิดหน่วง สัญลักษณ์ของเครื่องวัดไฟฟ้ามี 4 ชนิด ได้แก่ สัญลักษณ์ทางโครงสร้าง สัญลักษณ์ชนิดของไฟฟ้า สัญลักษณ์ตำแหน่งการวาง สัญลักษณ์เครื่องหมายการค้าและสัญลักษณ์อื่น ๆ

1. จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจและสามารถนำความรู้ ความเข้าใจในเรื่องความรู้เบื้องต้นของเครื่องวัดไฟฟ้าไปประยุกต์ใช้งาน

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักเรียนเรียนเรื่องความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดไฟฟ้าจบแล้ว นักเรียนสามารถ

2.1 บอกความหมายของการวัดทางไฟฟ้าได้

2.2 บอกความหมายของเครื่องวัดทางไฟฟ้าได้

2.3 บอกประเภทของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบต่าง ๆ ได้

2.4 บอกความหมายของแรงบิดชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเครื่องวัดไฟฟ้าได้

2.5 อธิบายการเกิดแรงบิดบ่ายเบนได้

2.6 อธิบายการเกิดแรงบิดควบคุมได้

2.7 อธิบายการเกิดแรงบิดหน่วงได้

2.8 บอกความหมายของสัญลักษณ์ทางโครงสร้างของเครื่องวัดไฟฟ้าได้

2.9 บอกความหมายของสัญลักษณ์ของชนิดไฟฟ้าของเครื่องวัดไฟฟ้าได้

2.10 บอกความหมายของสัญลักษณ์ตำแหน่งการวางของเครื่องวัดไฟฟ้าได้

2.11 บอกความหมายของสัญลักษณ์อื่น ๆ ของเครื่องวัดไฟฟ้าได้

ตัวอย่าง

หน่วยที่... 1

1. การวัดทางไฟฟ้า (Electrical Measurement)

การวัดทางไฟฟ้า หมายถึง การเปรียบเทียบปริมาณทางไฟฟ้าที่ต้องการวัดกับปริมาณไฟฟ้ามาตรฐานที่กำหนดไว้ เช่น ปริมาณมาตรฐานของกระแสไฟฟ้า 1 แอมป์แปร์ หมายถึง ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำที่มีความยาวเป็นอนันต์ มีพื้นหน้าตัดเล็กมากจนไม่ต้องนำมาคิด โดยวางขนานห่างกัน 1 เมตร ในสูญญากาศและทำให้เกิดแรงระหว่างตัวนำทั้งสองขนาด $2x10^{-7}$ นิวตันต่อความยาว 1 เมตร ดังนั้นถ้าหากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ทำการวัดมีขนาดเป็น 10 เท่าของปริมาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐานดังกล่าว จึงสรุปได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้นั้นมีค่าเป็น 10 แอมป์แปร์

2. เครื่องวัดไฟฟ้า (Electrical Instrument)

เครื่องวัดไฟฟ้า หมายถึง เครื่องมือวัดใดๆ ทางไฟฟ้าที่ใช้วัดปริมาณต่าง ๆ ทางไฟฟ้า เช่น เครื่องวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า เครื่องวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าหรือเครื่องวัดปริมาณกำลังไฟฟ้า เป็นต้น

3. ประเภทของเครื่องวัดไฟฟ้า (Type of Electrical Instrument)

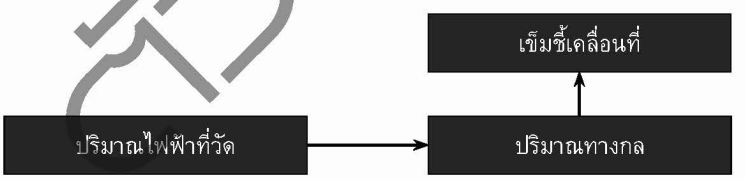
เครื่องวัดไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้หลายชนิดตามกฎเกณฑ์ต่างๆ ในที่นี้จะแบ่งเครื่องวัดไฟฟ้าออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

3.1 ประเภทของเครื่องวัดไฟฟ้าแบ่งตามหลักการทำงาน

ประเภทของเครื่องวัดไฟฟ้าแบ่งตามหลักการทำงาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

3.1.1 เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดอิเล็กทรอเมกคานิก (Electro mechanics Instruments)

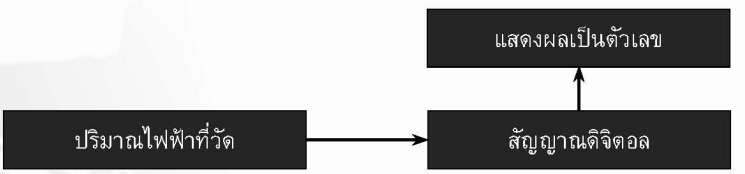
เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดอิเล็กทรอเมกคานิก หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่มีหลักการทำงานโดยการเปลี่ยนปริมาณไฟฟ้าที่วัดให้เป็นปริมาณทางกล แล้วทำให้ส่วนเคลื่อนที่พาเข็มชี้ออกไปจากตำแหน่งเดิมไปชี้ค่าบนสเกลซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอเมกคานิก

3.1.2 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบดิจิตอล (Digital Instruments)

เครื่องวัดไฟฟ้าแบบดิจิตอล หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่มีหลักการทำงานโดยการเปลี่ยนปริมาณไฟฟ้าที่วัดให้เป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วแสดงผลปริมาณที่วัดออกมาเป็นตัวเลขซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบดิจิตอล

3.1.3 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบชี้ค่าศูนย์ (Null Type Instruments)

เครื่องวัดไฟฟ้าแบบชี้ค่าศูนย์ หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่มีหลักการทำงานโดยการเปรียบเทียบปริมาณที่ทำการวัดกับปริมาณอ้างอิงที่ทราบค่าแล้ว และเมื่อการวัดสิ้นสุดลงหรือเสร็จสิ้นแล้ว ส่วนที่แสดงค่าของเครื่องวัด (หรือเข็มชี้) จะชี้ค่าศูนย์ ตัวอย่างเช่น เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบวีตสโตนบริดจ์ ดังรูปที่ 1.3

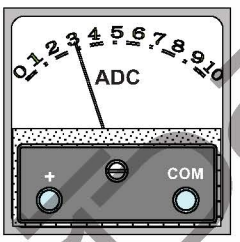
รูปที่ 1.3 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบชี้ค่าศูนย์

3.2 ประเภทของเครื่องวัดไฟฟ้าแบ่งตามชนิดของไฟฟ้า

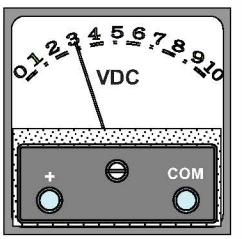
ประเภทของเครื่องวัดไฟฟ้าแบ่งตามชนิดของไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

3.2.1 เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Instruments)

เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงหรือทำงานด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรง ตัวอย่างเช่น โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 1.4



(ก) แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

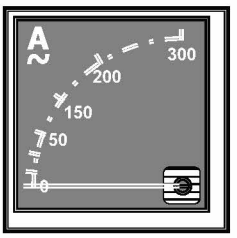


(ข) โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

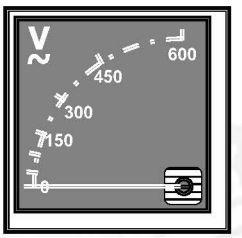
รูปที่ 1.4 เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง

3.2.2 เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Instruments)

เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับหรือทำงานด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับทั้งชนิด 1 เฟสและ 3 เฟส ตัวอย่างเช่น โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ แอมมิเตอร์ ไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 1.5



(ก) แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ



(ข) โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

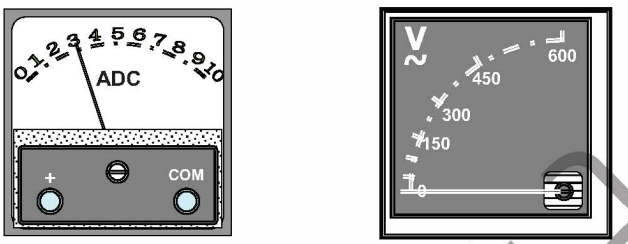
รูปที่ 1.5 เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ

3.3 ประเภทของเครื่องวัดไฟฟ้าแบ่งตามการแสดงผลการวัดของเครื่องวัดไฟฟ้า

ประเภทของเครื่องวัดไฟฟ้าแบ่งตามการแสดงผลการวัดของเครื่องวัดไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

3.3.1 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบชี้ค่า (Indicating Instruments)

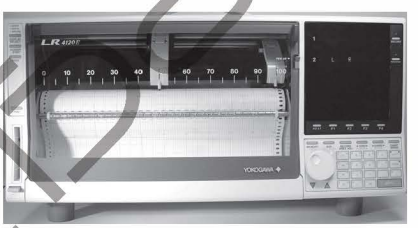
เครื่องวัดไฟฟ้าแบบชี้ค่า หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่แสดงผลการวัดออกมาโดยเข็มชี้ ขณะที่ทำการวัดแต่เมื่อหยุดทำการวัดเข็มชี้จะไม่แสดงผลการวัด ตัวอย่างเช่น เมื่อนำโวลต์มิเตอร์ไปวัดแรงดันไฟฟ้าเข็มชี้จะเคลื่อนที่ไปชี้ค่า (แสดงผลการวัด) บนสเกลแต่เมื่อหยุดทำการวัดเข็มชี้จะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิม (ไม่แสดงผลการวัด) ดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบชี้ค่า

3.3.2 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบบันทึกค่า (Recording Instruments)

เครื่องวัดไฟฟ้าแบบบันทึกค่า หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่แสดงผลการวัดโดยการบันทึกผลการวัดปริมาณไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ทำการวัด ลงในกระดาษกราฟหรือหน่วยความจำหรืออื่นๆ ตัวอย่างเช่น เรกคอร์ตเดอร์มิเตอร์ (Recorder meter) ดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบบันทึกค่า

3.3.3 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบสะสมค่า (Integrating Instruments)

เครื่องวัดไฟฟ้าแบบสะสมค่า หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่แสดงผลการวัดโดยการสะสมปริมาณไฟฟ้าที่ทำการวัดตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการวัด ตัวอย่างเช่น เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าชนิดกิโลวัตต์ชั่วโมง หรือชนิดวัตต์ชั่วโมง ดังรูปที่ 1.8

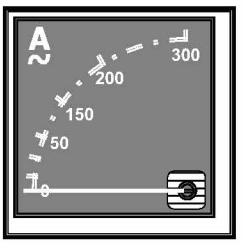
รูปที่ 1.8 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบสะสมค่า

3.4 ประเภทของเครื่องวัดไฟฟ้าแบ่งตามการนำไปใช้งาน

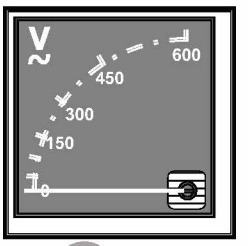
ประเภทของเครื่องวัดไฟฟ้าแบ่งตามการนำไปใช้งาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

3.4.1 แบบติดแผง (Panel Instruments)

เครื่องวัดไฟฟ้าแบบติดแผง หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่นำไปใช้งานโดยการยึดติดเข้ากับผนังตู้ควบคุมไฟฟ้า โดยทั่วไปจะมีลักษณะรูปทรงแบนเพื่อเหมาะสำหรับติดตั้งเข้ากับผนัง ตัวอย่างเช่น โวลต์มิเตอร์แบบติดแผง แอมมิเตอร์แบบติดแผง เป็นต้น



(ก) แอมมิเตอร์กระแสสลับ



(ข) โวลต์มิเตอร์กระแสสลับ

รูปที่ 1.9 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบติดแผง

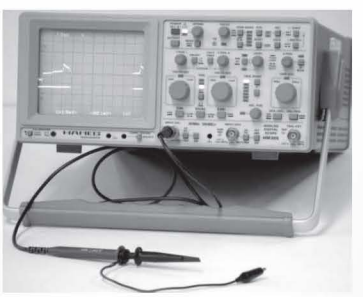
3.4.2 แบบพกพา (Portable Instruments)

เครื่องวัดไฟฟ้าแบบพกพา หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่สามารถเคลื่อนย้ายไปมาได้อย่างสะดวกหรือถือติดตัวนำไปใช้งานได้อย่างสะดวก ตัวอย่างเช่น แอมมิเตอร์แบบคล้อง (Clamp on Meter) มัลติมิเตอร์ เป็นต้น

รูปที่ 1.10 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบพกพา

3.4.3 แบบตั้งโต๊ะ (Desktop Instruments)

เครื่องวัดไฟฟ้าแบบตั้งโต๊ะ หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ นำติดตัวไปใช้งานไม่สะดวก เหมาะสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างเช่น เครื่องวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า มัลติมิเตอร์แบบตั้งโต๊ะ เป็นต้น



รูปที่ 1.11 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบตั้งโต๊ะ (เครื่องวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า)

3.5 ประเภทของเครื่องวัดไฟฟ้าแบ่งตามหน้าที่ที่ใช้วัดปริมาณทางไฟฟ้า

ประเภทของเครื่องวัดไฟฟ้าแบ่งตามหน้าที่ที่ใช้วัดปริมาณทางไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้หลายชนิด ดังต่อไปนี้

3.5.1 แอมมิเตอร์ (Ammeter)

แอมมิเตอร์ เป็นเครื่องวัดไฟฟ้าที่ทำหน้าที่วัดปริมาณกระแสไฟฟ้า

3.5.2 โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter)

โวลต์มิเตอร์ เป็นเครื่องวัดไฟฟ้าที่ทำหน้าที่วัดปริมาณแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 1.12 แอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์

3.5.3 โอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter)

โอห์มมิเตอร์ เป็นเครื่องวัดไฟฟ้าที่ทำหน้าที่วัดปริมาณความต้านทานไฟฟ้า

3.5.4 วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter)

วัตต์มิเตอร์ เป็นเครื่องวัดไฟฟ้าที่ทำหน้าที่วัดปริมาณกำลังไฟฟ้าจริง

รูปที่ 1.13 โอห์มมิเตอร์ (วีตสโตนบริดจ์) และวัตต์มิเตอร์

3.5.5 วาร์มิเตอร์ (Varmeter)

วาร์มิเตอร์ เป็นเครื่องวัดไฟฟ้าที่ทำหน้าที่วัดปริมาณกำลังไฟฟ้าต้านกลับ

3.5.6 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (Kilo Watt Hour meter: kWH)

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นเครื่องวัดไฟฟ้าที่ทำหน้าที่วัดปริมาณพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ

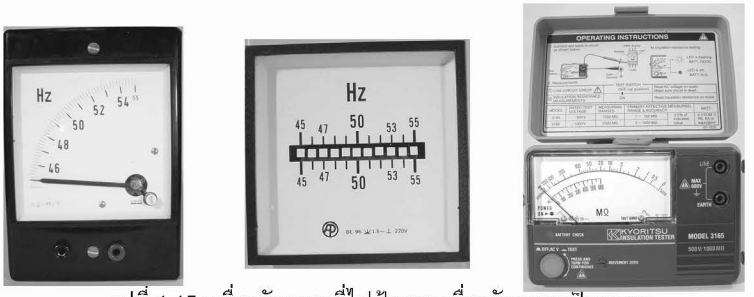
รูปที่ 1.14 วาร์มิเตอร์และเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ

3.5.7 เครื่องวัดความถี่ไฟฟ้า (Frequency meter)

เครื่องวัดความถี่ไฟฟ้าเป็นเครื่องวัดไฟฟ้าที่ทำหน้าที่วัดปริมาณความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ

3.5.8 เครื่องวัดความเป็นฉนวน (Insulator meter)

เครื่องวัดความเป็นฉนวน เป็นเครื่องวัดไฟฟ้าที่ทำหน้าที่วัดปริมาณความเป็นฉนวนทางไฟฟ้าของฉนวนไฟฟ้า



รูปที่ 1.15 เครื่องวัดความถี่ไฟฟ้าและเครื่องวัดความเป็นฉนวน

3.5.9 เครื่องวัดมัลติมิเตอร์ (Multi meter)

เครื่องวัดมัลติมิเตอร์ เป็นเครื่องวัดไฟฟ้าที่ทำหน้าที่วัดปริมาณไฟฟ้าได้หลายชนิด เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้าเป็นต้น

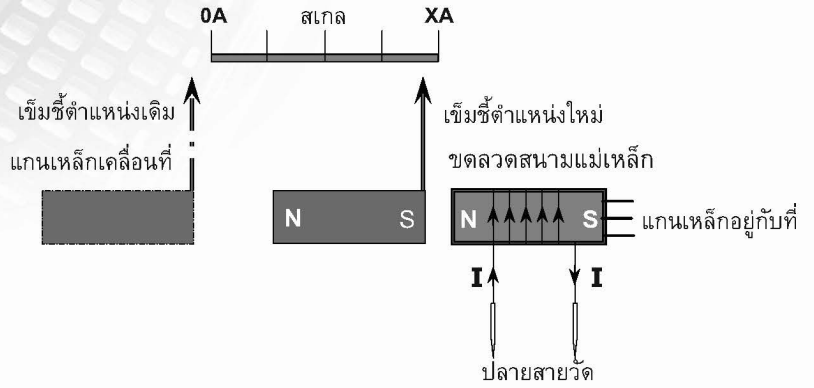
รูปที่ 1.16 มัลติมิเตอร์แบบอนาลอกและมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล

4. แรงบิดของเครื่องวัดไฟฟ้า (Electrical Instrument Torque)

เครื่องวัดไฟฟ้าแบบชี้ค่าเป็นเครื่องวัดไฟฟ้าที่ขณะทำการวัดเข็มชี้จะเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิมไปชี้ค่าบนสเกลและเมื่อเลิกทำการวัดเข็มชี้จะเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเดิม การที่จะทำให้ส่วนเคลื่อนที่พาเข็มชี้เคลื่อนที่ไปชี้ค่าบนสเกลได้ถูกต้องและกลับสู่ตำแหน่งเดิมหลังการวัดได้นั้นจะประกอบด้วยแรงชนิดต่าง ๆ หลายชนิดและบางทีเรียกแรงเหล่านี้ว่าแรงบิด (Torque) (เฉพาะในกรณีที่เข็มชี้หรือส่วนเคลื่อนที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมเรียกว่า แรงบิด) แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

4.1 แรงบิดบ่ายเบน (Deflecting Torque)

แรงบิดบ่ายเบน หมายถึง แรงบิดที่ทำหน้าที่พาเข็มให้บ่ายเบนหรือเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิมเพื่อไปชี้ค่าบนสเกลและการสร้างแรงบิดบ่ายเบนในเครื่องวัดไฟฟ้าแบบชี้ค่าสามารถทำได้หลายวิธี เช่น อาศัยผลของอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้า ผลของแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ผลของความร้อนและอาศัยผลของไฟฟ้าสถิตย์ เป็นต้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 1.17 แสดงหลักการเบื้องต้นในการสร้างแรงบิดบ่ายเบน

จากรูปที่ 1.17 ขณะที่ยังไม่ได้นำปลายสายวัดไปวัดปริมาณทางไฟฟ้าใดๆ จะยังไม่เกิดแรงบิดบ่ายเบน ดังนั้นเข็มชี้จึงอยู่ที่ตำแหน่งเดิม คือ ตำแหน่ง 0 A

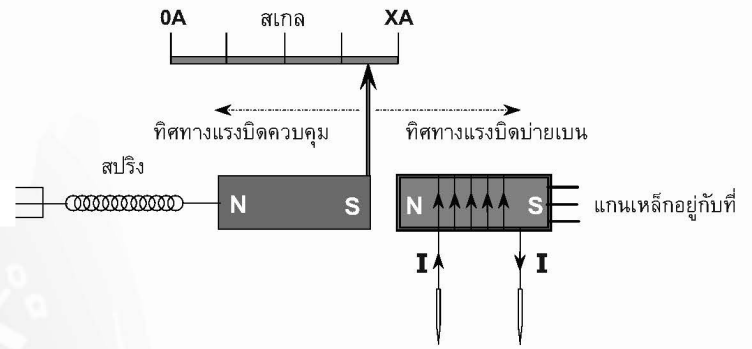
ต่อมาเมื่อนำปลายสายวัดไปวัดปริมาณทางไฟฟ้าใดๆ จะทำให้มีกระแสไฟฟ้า (I) ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็ก ขดลวดสนามแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำทำให้แกนเหล็กอยู่กับที่เกิดอำนาจสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีขั้วเหนืออยู่ด้านซ้ายมือและมีขั้วใต้อยู่ด้านขวามือ (ซึ่งเป็นไปตามกฎมือขวา) อำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าของแกนเหล็กอยู่กับที่จะดูดแกนเหล็กเคลื่อนที่ทำให้เข็มชี้ที่ยึดติดอยู่กับแกนเหล็กเคลื่อนที่ เคลื่อนออกจากตำแหน่งเดิมไปชี้ค่าบนสเกล แรงที่ทำให้เข็มชี้เคลื่อนที่นี้เรียกว่า **แรงบิดบ่ายเบน**

4.2 แรงบิดควบคุม (Controlling Torque)

แรงบิดควบคุม หมายถึง แรงบิดที่ทำหน้าที่ควบคุมแรงบิดบ่ายเบนหรือต่อต้านแรงบิดบ่ายเบนเพื่อให้ส่วนเคลื่อนที่หรือเข็มชี้เคลื่อนที่ไปชี้ค่าที่ถูกต้องบนสเกล โดยถ้าหากไม่มีแรงบิดควบคุมแล้วเข็มชี้จะเคลื่อนที่ไปได้ไม่จำกัดเพราะแรงเฉื่อยทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ถูกต้อง นอกจากนั้นเมื่อเลิกทำการวัดแล้วเข็มชี้จะไม่กลับสู่ตำแหน่งเดิมอีกด้วย ในการสร้างแรงบิดควบคุมที่นิยมใช้กันทั่วไปมี 2 ชนิด คือ

4.2.1 แรงบิดควบคุมแบบใช้สปริง

สปริงที่ใช้สร้างแรงบิดควบคุมนี้สร้างจากโลหะผสมทองแดง ดีบุกและฟอสฟอรัสทั้งนี้เพื่อให้สปริงเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี (ซึ่งในการใช้งานจริงสปริงจะใช้เป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าที่จะไหลเข้าไปสู่ส่วนที่จะสร้างแรงบิดบ่ายเบน) และมีคุณสมบัติความเป็นสปริงอีกด้วย ดังรูปที่ 1.18 เป็นหลักการเบื้องต้นในการสร้างแรงบิดควบคุมโดยใช้สปริง



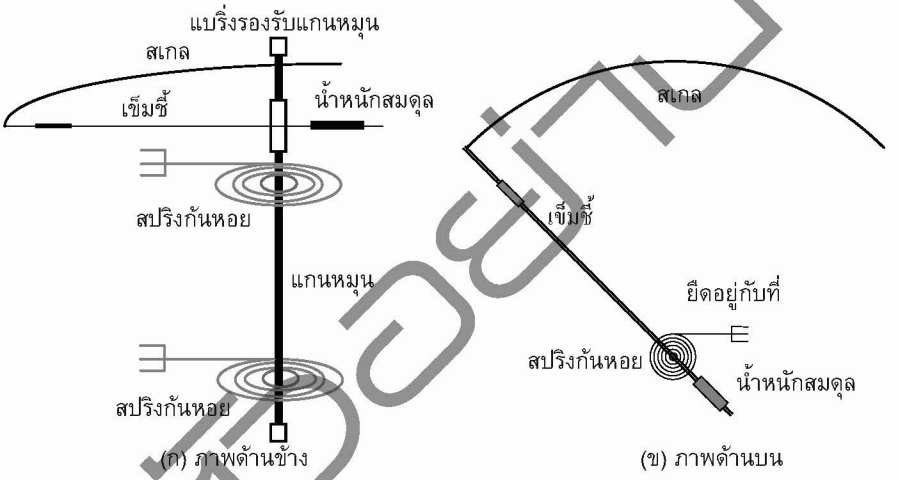
รูปที่ 1.18 แสดงหลักการเบื้องต้นในการสร้างแรงบิดควบคุมโดยใช้สปริง

จากรูปที่ 1.18 แสดงหลักการเบื้องต้นในการสร้างแรงบิดควบคุมโดยใช้สปริงซึ่งสปริงจะถูกยึดติดกับแกนเหล็กเคลื่อนที่ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของสปริงจะยึดอยู่กับที่ ขณะที่เครื่องวัดไฟฟ้ายังไม่ทำงานจะยังไม่เกิดแรงบิดบ่ายเบน สปริงจึงยังไม่สร้างแรงบิดควบคุม ต่อมาเมื่อเกิดแรงบิดบ่ายเบนเข็มชี้จึงเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิม (ตำแหน่ง 0A) สปริงจะสร้างแรงบิดควบคุมซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงบิดบ่ายเบน โดยแรงบิดบ่ายเบนพยายามพาเข็มชี้ให้เคลื่อนที่ไปทางด้านขวามือแต่สปริงพยายามดึงเข็มชี้ให้เคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายมือ จนเมื่อแรงบิดบ่ายเบนและแรงบิดควบคุมที่เกิดจากสปริงมีขนาดเท่ากันเข็มชี้จึงหยุดอยู่กับที่ ดังนั้น ณ ตำแหน่งนี้ จึงเรียกว่า **ตำแหน่งที่วัดค่าได้** หรือกล่าวได้ว่าเมื่อเข็มชี้หยุดนิ่งอยู่กับที่แสดงว่า

แรงบิดบ่ายเบน (T_D) = แรงบิดควบคุม (T_C)

เมื่อหยุดทำการวัดปริมาณไฟฟ้า แรงบิดบ่ายเบนหมดอำนาจลงจึงมีเพียงแรงบิดควบคุม ดังนั้นแรงบิดควบคุมจะดึงเข็มชี้กลับสู่ตำแหน่งเดิม (ตำแหน่ง 0 A)

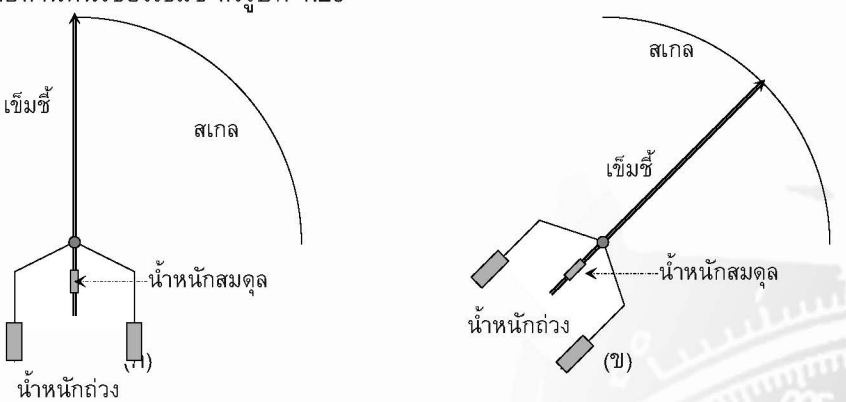
ในการใช้งานจริงแรงบิดควบคุมสร้างมาจากสปริงซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 1.19



รูปที่ 1.19 แสดงลักษณะของสปริงที่ทำหน้าที่สร้างแรงบิดควบคุมในการใช้งานจริง

4.2.2 แรงบิดควบคุมแบบใช้น้ำหนักถ่วง (Gravity Control)

ในการสร้างแรงบิดควบคุมแบบใช้น้ำหนักถ่วง สามารถสร้างได้โดยการนำแท่งน้ำหนักถ่วงยึดติดกับปลายด้านหนึ่งของเข็มชี้ ดังรูปที่ 1.20



รูปที่ 1.20 แสดงหลักการเบื้องต้นในการสร้างแรงบิดควบคุมโดยใช้น้ำหนักถ่วง

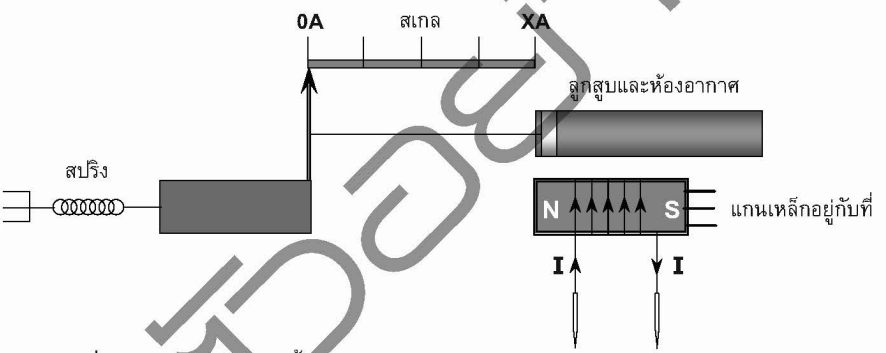
เมื่อเกิดแรงบิดบ่ายเบนทำให้เข็มเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิมน้ำหนักถ่วงจะทำหน้าที่สร้างแรงบิดควบคุมต่อต้านแรงบิดบ่ายเบน โดยแรงบิดควบคุมเกิดจากแรงดึงดูดของโลกต่อน้ำหนักถ่วงจนกระทั่ง เมื่อแรงบิดบ่ายเบนและแรงบิดควบคุมของน้ำหนักถ่วงมีขนาดเท่ากันเข็มชี้จะหยุดนิ่งอยู่กับที่และเมื่อหยุดทำการวัดปริมาณทางไฟฟ้าแรงบิดบ่ายเบนหมดไปแรงบิดควบคุมของน้ำหนักถ่วงจะพาเข็มชี้เคลื่อนที่กลับไปสู่ตำแหน่งเดิม

4.3 แรงบิดหน่วง (Damping Torque)

แรงบิดหน่วง หมายถึง แรงบิดที่ทำหน้าที่หน่วงไม่ให้เข็มชี้เกิดการแกว่ง (Swing) ขณะที่เข็มชี้เกิดการเคลื่อนที่ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อแรงบิดบ่ายเบนพาเข็มชี้เคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิมสปริงก็จะสร้างแรงบิดควบคุมในทิศทางตรงกันข้าม ผลของการต่อต้านซึ่งกันและกันของแรงบิดทั้งสองจึงทำให้เข็มชี้เกิดการแกว่งระยะหนึ่ง แล้วจึงหยุดนิ่งอยู่กับที่ (เมื่อแรงบิดบ่ายเบนเท่ากับแรงบิดควบคุม) การแกว่งไปมาของเข็มชี้จะทำให้การอ่านค่าปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการวัดต้องใช้เวลานาน (ต้องรอจนกว่าการแกว่งไปมาของเข็มชี้จะหยุดลง) ดังนั้นจึงต้องสร้างแรงบิดหน่วงมาแก้ไขการแกว่งของเข็มชี้ การสร้างแรงบิดหน่วงสามารถทำได้โดย

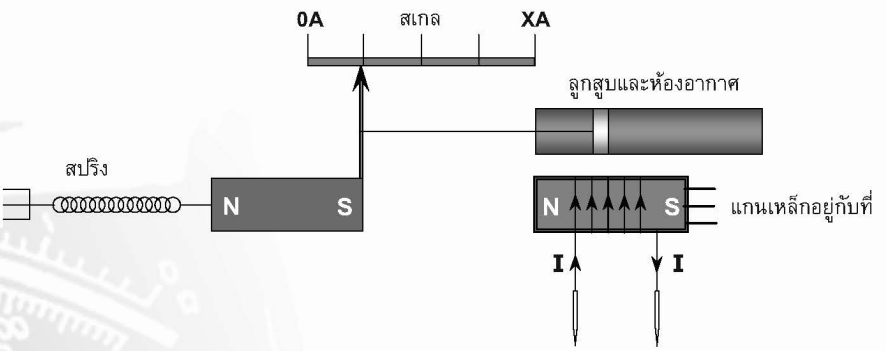
4.3.1 อากาศหรือของเหลว

การสร้างแรงบิดหน่วงโดยใช้อากาศหรือของเหลวบรรจุอยู่ในห้องอากาศหรือห้องบรรจุของเหลวมีโครงสร้างเบื้องต้น ดังรูปที่ 1.21



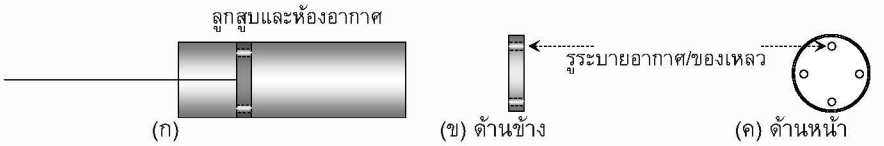
รูปที่ 1.21 แสดงหลักการเบื้องต้นในการสร้างแรงบิดหน่วงโดยใช้อากาศหรือของเหลว

จากรูปที่ 1 .21 แสดงหลักการเบื้องต้นในการสร้างแรงบิดหน่วงโดยการใช้อากาศหรือของเหลวซึ่งลูกสูบในห้องอากาศจะทำหน้าที่สร้างแรงบิดหน่วงโดยปลายด้านหนึ่งของก้านสูบจะถูกยึดติดกับเข็มชี้ ภายในห้องอากาศจะบรรจุอากาศหรือของเหลว ขณะที่เครื่องวัดไฟฟ้ายังไม่ทำงาน จึงยังไม่เกิดแรงบิดบ่ายเบน ลูกสูบในห้องอากาศจึงยังไม่สร้างแรงบิดหน่วง



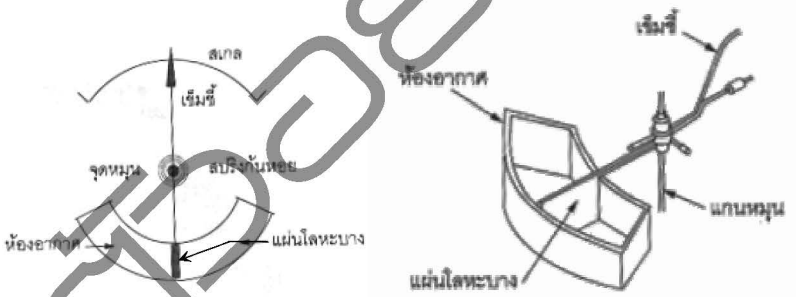
รูปที่ 1.22 แสดงการเกิดแรงบิดหน่วงโดยใช้อากาศหรือของเหลวบรรจุในห้องอากาศ

การทำงานของแรงบิดหน่วงจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดแรงบิดบ่ายเบนทำให้เข็มชี้เกิดการเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิม ก้านสูบซึ่งยึดติดกับเข็มชี้จะดันให้ลูกสูบเกิดการเคลื่อนที่ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่จึงปะทะกับอากาศหรือของเหลวที่บรรจุในห้องอากาศทำให้เกิดแรงต้านหรือแรงบิดหน่วง เข็มชี้จึงเคลื่อนที่ช้าลงและไม่แกว่ง จากนั้นอากาศหรือของเหลวจะค่อยๆ ระบายออกจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งผ่านรูของลูกสูบ ดังรูปที่ 1.23 จนกระทั่งอากาศหรือของเหลวมีแรงดันเท่ากันทั้งสองด้านแรงบิดหน่วงจึงหมดลง จะเห็นได้ว่าการเกิดแรงบิดหน่วงจะเกิดขึ้นเฉพาะขณะที่เข็มชี้เกิดการเคลื่อนที่เท่านั้นและจะหมดไปเมื่อเข็มชี้หยุดการเคลื่อนที่



รูปที่ 1.23 แสดงภาพขยายด้านข้างและด้านหน้าของลูกสูบและของห้องบรรจุอากาศหรือของเหลว

ในการใช้งานจริง การสร้างแรงบิดหน่วงโดยใช้อากาศหรือของเหลวมีลักษณะ ดังรูปที่ 1.24 เมื่อเกิดแรงบิดบ่ายเบนจะทำให้เข็มชี้เคลื่อนที่ออกไปจากตำแหน่งเดิม ทำให้โลหะบางที่อยู่อีกด้านหนึ่งของเข็มชี้ เคลื่อนที่ปะทะกับอากาศหรือของเหลวที่บรรจุในอากาศหรือห้องของเหลวนั้น เป็นผลให้เข็มเคลื่อนที่ได้ช้าลง การแกว่งของเข็มชี้จึงน้อยลง

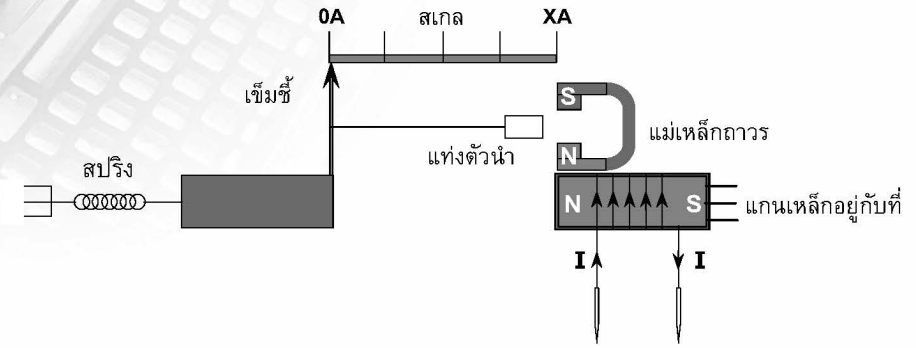


รูปที่ 1.24 แสดงการสร้างแรงบิดหน่วงโดยใช้อากาศหรือของเหลว

การสร้างแรงบิดหน่วงจากของเหลวมีข้อเสีย คือ ของเหลวซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมัน อาจรั่วซึมหากจัดวางเครื่องวัดไม่ถูกต้องตามที่คู่มือกำหนดไว้ รวมทั้งมีน้ำหนักมาก สร้างยากและมีราคาแพง ปัจจุบันจึงไม่ค่อยนิยมการสร้างแรงบิดหน่วงแบบนี้

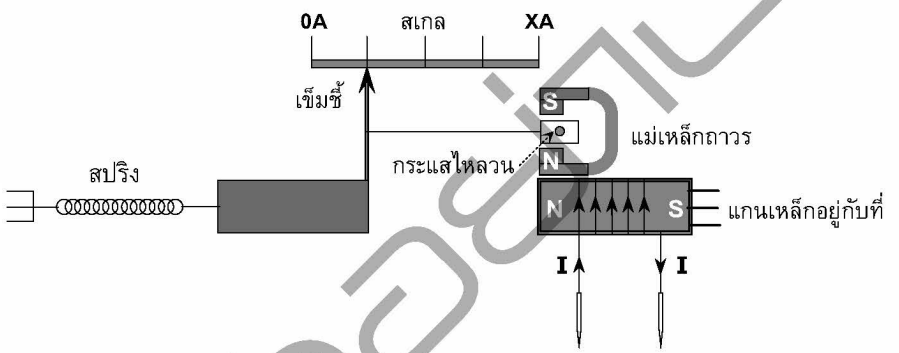
4.3.2 กระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy current)

การสร้างแรงบิดโดยใช้กระแสไฟฟ้าไหลวนมีโครงสร้างเบื้องต้นดังรูปที่ 1.25 โดยส่วนที่ทำหน้าที่สร้างแรงบิดหน่วงมีส่วนประกอบ คือ ขั้วแม่เหล็กถาวรและแท่งตัวนำที่ยึดติดกับก้านสูบและปลายอีกด้านหนึ่งของก้านสูบจะยึดติดกับส่วนที่เคลื่อนที่หรือเข็มชี้ เมื่อส่วนเคลื่อนที่หรือเข็มชี้เกิดการเคลื่อนที่จึงพาแท่งตัวนำเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรด้วย



รูปที่ 1.25 แสดงหลักการเบื้องต้นในการสร้างแรงบิดหน่วงจากกระแสไฟฟ้าไหลวน

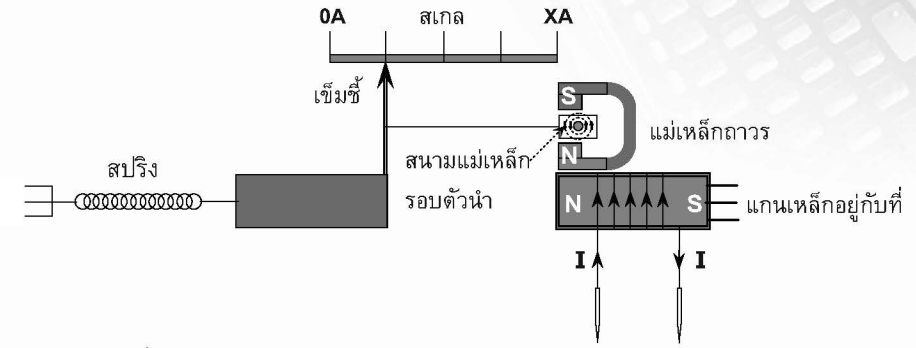
จากรูปที่ 1.25 ขณะที่ยังไม่เกิดแรงบิดบ่ายเบนหรือเข็มชี้ไม่มีการเคลื่อนที่ แท่งตัวนำจึงยังไม่เคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กถาวรจึงยังไม่เกิดแรงบิดหน่วงขึ้น



รูป 1.26 แสดงหลักการเบื้องต้นในการสร้างแรงบิดหน่วงจากกระแสไหลวน

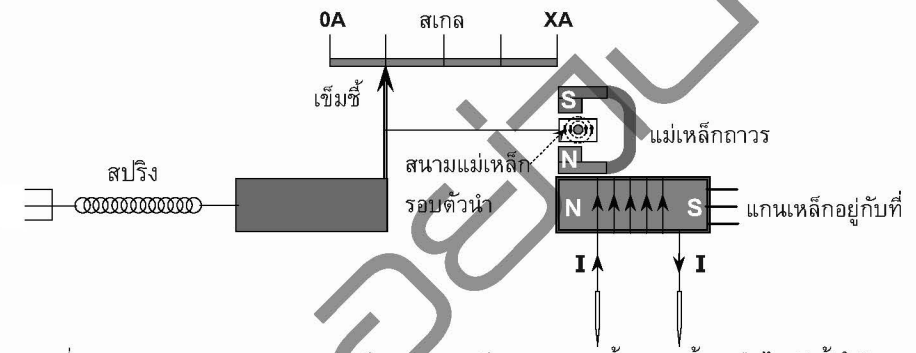
จากรูปที่ 1.26 ขณะที่เกิดแรงบิดบ่ายเบน ส่วนเคลื่อนที่หรือเข็มชี้จะเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิม ขณะเดียวกันแท่งตัวนำที่ยึดติดกับเข็มชี้จะเคลื่อนที่เข้าไปตัดกับสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรทำให้เกิด แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และจะมีกระแสไฟฟ้าไหลวนอยู่ในแท่งตัวนำ (เพราะแท่งตัวนำครบวงจรในตัวเอง) ทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลวนหาได้จากกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง (เมื่อกางนิ้วมือขวาออกโดยให้นิ้วชี้ นิ้วกลาง และนิ้วหัวแม่มือตั้งฉากซึ่งกันและกัน ถ้าให้นิ้วหัวแม่มือชี้ทิศทางของตัวนำเคลื่อนที่ นิ้วชี้ชี้ทิศทางของสนามแม่เหล็กและนิ้วกลางจะชี้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ) ดังนั้นทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลวนที่แท่งตัวนำจึงมีทิศทางพุ่งออกจากแท่งตัวนำ

รูปที่ 1.27 แสดงกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง



รูปที่ 1.28 แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กรอบแท่งตัวนำจากกระแสไฟฟ้าไหลวน

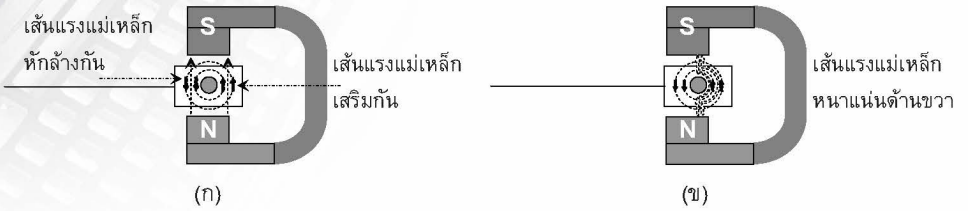
จากรูปที่ 1.28 เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนอยู่ในแท่งตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำ โดยทิศทางเป็นไปตามกฎมือขวา (เมื่อกำมือขวา ถ้าให้นิ้วหัวแม่มือชี้ทิศทางกระแสไฟฟ้าไหลวนในตัวนำ นิ้วทั้ง 4 จะชี้ทิศทางสนามแม่เหล็กรอบตัวนำ) ดังนั้นทิศทางสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจึงมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 1.29 แสดงทิศทางสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร บิดเบี้ยวจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้

จากรูปที่ 1.29 เมื่อเกิดกระแสไหลวนจะมีสนามแม่เหล็กจำนวน 2 สนาม ได้แก่ สนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบตัวนำและสนามแม่เหล็กถาวรของแม่เหล็กถาวร จึงทำให้สนามแม่เหล็กถาวรบิดเบี้ยวไปจากเดิมซึ่งปกติจะเดินทางเป็นเส้นตรงจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ ดังนั้นจึงเกิดแรงผลักต่อแท่งตัวนำของสนามแม่เหล็กถาวร เพื่อให้แท่งตัวนำเคลื่อนที่ออกจากสนามแม่เหล็กถาวรเพื่อที่เส้นแรงแม่เหล็กเดินทางได้อย่างเป็นเส้นตรงเหมือนเดิมและทิศทางของแรงผลักหาได้จากกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง (เมื่อกางนิ้วมือซ้ายออกโดยให้นิ้วชี้ นิ้วกลางและนิ้วหัวแม่มือตั้งฉากซึ่งกันและกัน ถ้าให้นิ้วชี้ชี้ทิศทางของสนามแม่เหล็ก นิ้วกลางชี้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำและ นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางของตัวนำเคลื่อนที่) ซึ่งจะมีทิศทางของแรงผลักหรือจะมีทิศทางต่อต้านกับทิศทางของแท่งตัวนำเคลื่อนที่เสมอ

รูปที่ 1.30 แสดงกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง

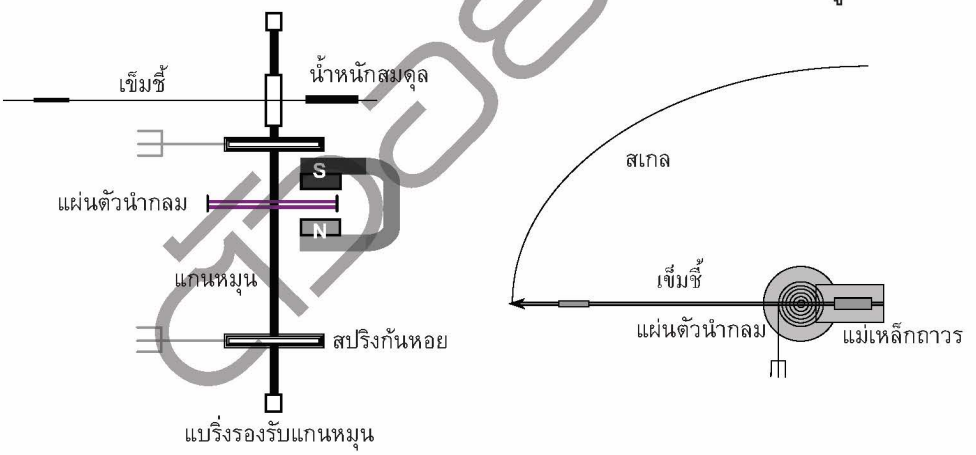


รูปที่ 1.31 ภาพขยายแสดงสนามแม่เหล็กหนาแน่นด้านขวามือ

นอกจากนั้นอาจอธิบายได้อีกลักษณะหนึ่ง คือ จากรูปที่ 1.31 (ก) ด้านซ้ายมือเส้นแรงแม่เหล็กถาวรมีทิศทางตรงข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำซึ่งมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนด้านขวามือเส้นแรงแม่เหล็กถาวรมีทิศทางเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กส่วนใหญ่จึงหนาแน่นทางด้านขวามือ และเนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กถาวรพยายามเดินทางเป็นเส้นตรงจึงเกิดแรงผลักผลักให้แท่งตัวนำเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายมือหรือเคลื่อนที่ออกจากสนามแม่เหล็กถาวรดังรูปที่ 1.31 (ข) แรงผลักหรือแรงบิดนี้จะมีทิศทางต่อต้านกับทิศทางของแรงบิดบ่ายเบนซึ่งเรียกว่า แรงบิดหน่วง

ต่อมาเมื่อแรงบิดบ่ายเบนมีค่าเท่ากับแรงบิดควบคุม เข็มชี้จึงหยุดการเคลื่อนที่ แท่งตัวนำจึงไม่เคลื่อนที่หรือหยุดนิ่ง แท่งตัวนำจึงไม่ตัดกับสนามแม่เหล็กถาวร จึงไม่เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำหรือไม่เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวนำ สนามแม่เหล็กรอบแท่งตัวนำจึงไม่มี สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรจึงไม่เกิดการบิดเบี้ยวทำให้ไม่มีแรงผลัก ส่งผลให้ไม่มีแรงบิดหน่วงหรือกล่าวได้ว่าแรงบิดหน่วงจะเกิดขึ้นเฉพาะขณะที่เข็มชี้เกิดการเคลื่อนที่เท่านั้น

ในการใช้งานจริงการสร้างแรงบิดหน่วงโดยใช้กระแสไหลวนมีลักษณะดังรูปที่ 1.32

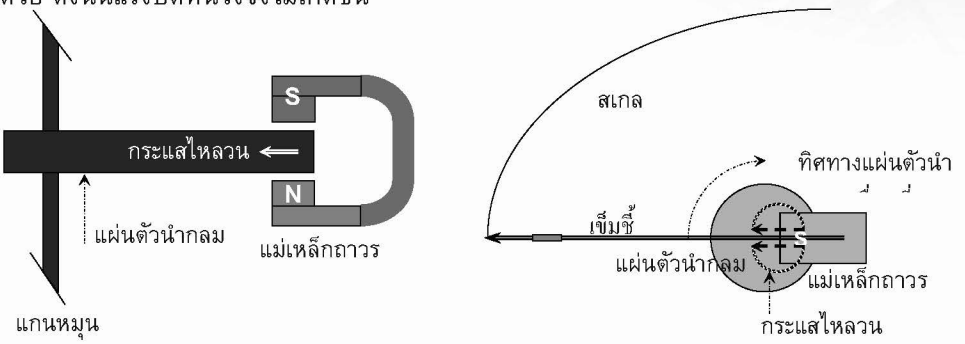


รูปที่ 1.32 แสดงโครงสร้างของส่วนประกอบที่ทำหน้าที่สร้างแรงบิดหน่วงในงานจริง

จากรูปที่ 1.32 แสดงโครงสร้างของส่วนประกอบในการสร้างแรงบิดหน่วงจากกระแสไฟฟ้าไหลวนในงานจริงซึ่งประกอบด้วย แผ่นโลหะกลม แม่เหล็กถาวร โดยแผ่นตัวนำกลมจะสอดอยู่ระหว่างขั้วเหนือและขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวร

การเกิดแรงบิดหน่วงเกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลวนของแผ่นตัวนำกลมสามารถอธิบายได้คือ เมื่อเกิดแรงบิดบ่ายเบนจะทำให้ส่วนเคลื่อนที่หรือเข็มเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิมขณะเดียวกันจะทำให้แผ่นตัวนำกลมเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรไปพร้อมกัน เพราะว่าแผ่นตัวนำกลมจะยึดติดเข้ากับแกนหมุนเดียวกัน และทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตลอดจนมีกระแสไฟฟ้าไหลวนขึ้นในแผ่นตัวนำกลมซึ่งมีทิศทางเป็นไปตามกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง

ทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลวนในแผ่นตัวนำกลมจะมีทิศทาง ดังรูปที่ 1.33 แผ่นตัวนำกลมเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านและวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงผลักที่มีทิศทางต่อต้านกับแรงบิดบ่ายเบน จึงเป็นผลให้เข็มชี้ไม่แกว่งซึ่งเรียกว่าแรงบิดหน่วงและเมื่อเข็มชี้หยุดเคลื่อนที่แผ่นตัวนำกลมจะหยุดเคลื่อนที่ด้วย ดังนั้นแรงบิดหน่วงจึงไม่เกิดขึ้น



(ก) ภาพด้านข้าง (ข) ภาพด้านบน

รูปที่ 1.33 แสดงภาพขยายการเกิดกระแสไหลวนในแผ่นตัวนำกลม

5. ขนาดของแรงบิดหน่วง (Damping Torque)

ขนาดของแรงบิดหน่วงแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่

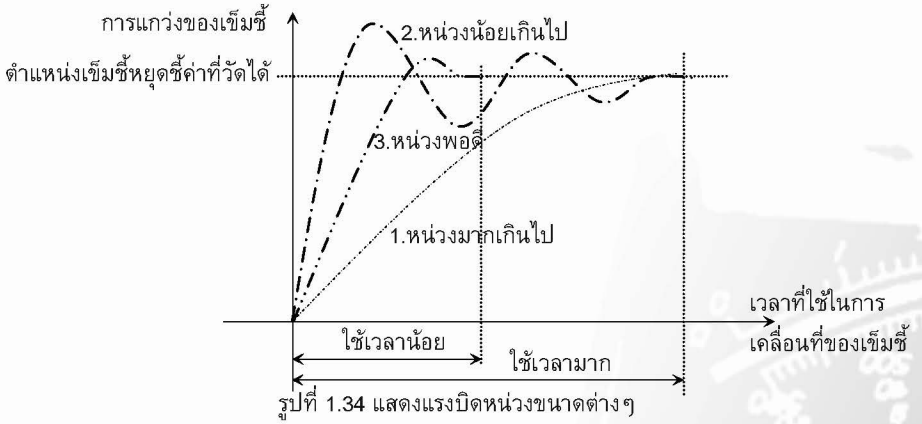
5.1 แรงบิดหน่วงมากเกินไป (Over damping Torque)

แรงบิดหน่วงมากเกินไป หมายถึง แรงบิดหน่วงที่ทำให้เข็มชี้มีการแกว่งน้อยมากโดยเข็มชี้จะค่อยๆ เคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิมอย่างช้าๆ (จึงไม่เกิดการแกว่ง) และเมื่อเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งที่ถูกต้องแล้วเข็มชี้จะหยุดนิ่งทันที ดังนั้นจึงใช้เวลานานในการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่ต้องการทราบค่า

5.2 แรงบิดหน่วงน้อยเกินไป (Under damping Torque) หมายถึง แรงบิดที่ทำให้เข็มชี้เกิดการแกว่งมากเกินไปและจะแกว่งไปมาอยู่ระหว่างค่าที่ถูกต้องโดยเข็มชี้จะเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิมอย่างรวดเร็วจนเกิด การแกว่งไปมาอยู่ระหว่างค่าที่ถูกต้องแล้วจึงค่อยๆ หยุดชี้ค่าที่ถูกต้อง ดังนั้นจึงใช้เวลานานในการวัดค่าปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการทราบเช่นกัน

5.3 แรงบิดหน่วงพอดี (Critical damping Torque) หมายถึง แรงบิดหน่วงที่ทำให้เข็มชี้เกิดการแกว่ง เพียงเล็กน้อย แล้วจึงหยุดชี้ค่าที่ถูกต้องทันที โดยเข็มชี้จะเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิมพอดีไม่เร็วจนเกินไปจึงเกิดการแกว่งไปมาเพียงเล็กน้อยซึ่งจะแกว่งอยู่ระหว่างค่าที่ถูกต้องแล้วจึงค่อยๆ หยุดชี้ค่าที่ถูกต้อง ดังนั้นจึงใช้เวลาน้อยในการวัดค่าปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการทราบค่า

จากขนาดแรงบิดหน่วงทั้ง 3 ขนาดจึงสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 1.34



รูปที่ 1.34 แสดงแรงบิดหน่วงขนาดต่างๆ

6. สัญลักษณ์ต่าง ๆ ของเครื่องวัดไฟฟ้า (Electrical Instrument Symbol)

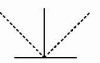
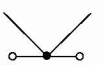
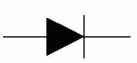
สัญลักษณ์ต่าง ๆ ของเครื่องวัดไฟฟ้า มีไว้เพื่อแสดงคุณลักษณะต่าง ๆ ของเครื่องวัดไฟฟ้าตลอดจนลักษณะการนำไปใช้งาน เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อทำให้เกิดความถูกต้อง ความปลอดภัยในการใช้งานโดยส่วนใหญ่จะแสดงไว้ที่บริเวณด้านหน้าของเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น บริเวณสเกล บริเวณสวิตซ์เลือกหน้าที่และย่านการวัด เป็นต้น

สัญลักษณ์ต่าง ๆ ของเครื่องวัดไฟฟ้ามีหลายชนิด ในที่นี้จะเสนอไว้ 5 ชนิดได้แก่

6.1 สัญลักษณ์ทางโครงสร้าง

สัญลักษณ์ทางโครงสร้าง หมายถึง สัญลักษณ์ที่แสดงถึงโครงสร้างภายในเครื่องวัดไฟฟ้า ดังตารางที่ 1.1 แสดงสัญลักษณ์ทางโครงสร้างและความหมาย

ตารางที่ 1.1 แสดงสัญลักษณ์ทางโครงสร้างของเครื่องวัดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

สัญลักษณ์ทางโครงสร้าง	ความหมาย	สัญลักษณ์ทางโครงสร้าง	ความหมาย
	เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดขดลวดเคลื่อนที่แบบใช้แม่เหล็กถาวร		เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดแกนเหล็กเคลื่อนที่
	เครื่องวัดไฟฟ้าอิเล็กทรอ-ไดนามิกแบบไม่มีแกนเหล็ก		เครื่องวัดไฟฟ้าอิเล็กทรอ-ไดนามิกแบบมีแกนเหล็ก
	เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดขดลวดขวางแบบไม่มีแกนเหล็ก		เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดขดลวดขวางแบบมีแกนเหล็ก
	เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ		เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดก้านสั่น
	เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดโลหะคู่		เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดเทอร์โมคับเปิ้ล
	เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดมีวงจรเรียงกระแสไฟฟ้า		เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดขดลวดเคลื่อนที่ที่มีวงจรเรียงกระแส

6.2 สัญลักษณ์ชนิดของไฟฟ้า

สัญลักษณ์ชนิดของไฟฟ้า หมายถึง สัญลักษณ์ที่แสดงถึงชนิดของไฟฟ้าที่มีเครื่องวัดไฟฟ้านั้นสามารถใช้งานได้ ตารางที่ 1.2 แสดงสัญลักษณ์ชนิดของไฟฟ้าและความหมาย

ตัวอย่าง

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ติดตามหนังสือออกใหม่ของ สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. ได้ที่
www.facebook.com/tpabook
www.twitter.com/tpa_publishing
สอบถามเพิ่มเติม
Book4u@tpa.or.th

ตัวอย่าง