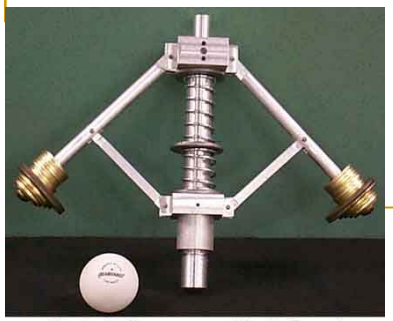
1301 300: Mechanical Measurement and Instruments

การวัดและเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมเครื่องกล



Fly-ball Governor -- Mark Barret

บทที่ 4

การวัดและเครื่องมือวัด

Motion, Force, Power

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ธนรัฐ ศรีวีระกุล

เนื้อหา

1. การวัดการขจัด
2. การวัดมวล
3. การวัดความเร่งและการสั่นสะเทือน
4. การวัดความเร็ว
5. การวัดแรง
6. การวัดกำลังงาน

1. การวัดการขจัด (Displacement Measurement)

- การวัดการเคลื่อนที่ระหว่างจุดสองจุดโดยที่จุดหนึ่งถูกกำหนดไว้
- เสตรนเกจ ก็เป็นอุปกรณ์วัดระยะชนิดหนึ่งที่ใช้กับค่าการขจัดจำนวนน้อย ๆ
- เครื่องมือวัดการขจัดที่นิยมใช้อยู่ทั่วไปมี 2 ชนิดคือ

1.1) Potentiometer

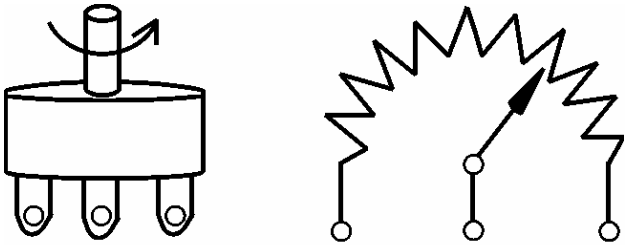
1.2) Linear Variable Differential Transformer (LVDT)

1.1) Potentiometer

- คือ ความต้านทานแบบปรับค่าได้

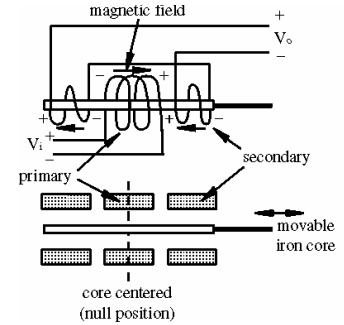
ประกอบด้วยส่วนเคลื่อนที่กับขดลวดความต้านทาน
การเคลื่อนไหวจะทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง
โดยใช้ร่วมกับวงจร voltage divider สามารถแปลงค่าความเปลี่ยนแปลงของความต้านทานออกมาอยู่ในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้า

หรือบางครั้งตัวต้านทานก็ ใช้อยู่ในรูปของการหมุนเพื่อให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น
สัญญาณที่ได้จะออกมาในลักษณะแยกจากกันซึ่งความละเอียดขึ้นอยู่กับ
จำนวนรอบของขดลวดต่อระยะทาง



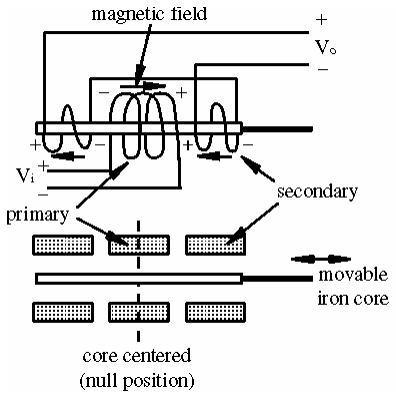
1.2) LVDT

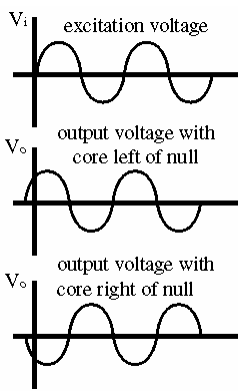
ทำงานโดยใช้หลักการของพลังงานสนามแม่เหล็กในหม้อแปลงไฟฟ้า



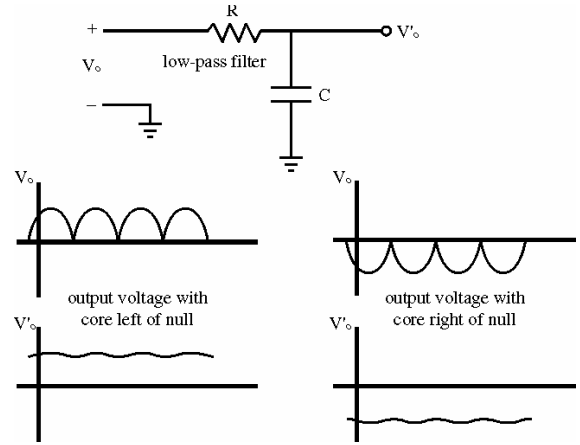
จะมีขดลวดโลหะอยู่ 3 ชุด เป็น ปฐมภูมิ 1 และ ทุติยภูมิ 2 ชุด และ แกนโลหะ 1แกน
ชุดปฐมภูมิมีหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กผ่านไปยังแกนโลหะ
สนามแม่เหล็กในแกนโลหะจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิทั้งสอง
ขดลวดนี้เชื่อมต่อถึงกัน

เมื่อแกนโลหะอยู่ที่จุดเริ่มต้น แรงดันที่เกิดขึ้นในขดทั้งสองจะหักล้างกันจนได้ค่าเป็นศูนย์
เมื่อเคลื่อนแกนโลหะไปทางหนึ่งพื้นที่ถ่ายเทสนามแม่เหล็กของขดทุติยภูมิด้านหนึ่งจะน้อยกว่าอีกด้าน
ทำให้เกิดแรงเคลื่อนทางไฟฟ้า
ทิศทางของแรงดันที่เกิดขึ้นสามารถใช้บอกได้ว่าแกนโลหะเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด

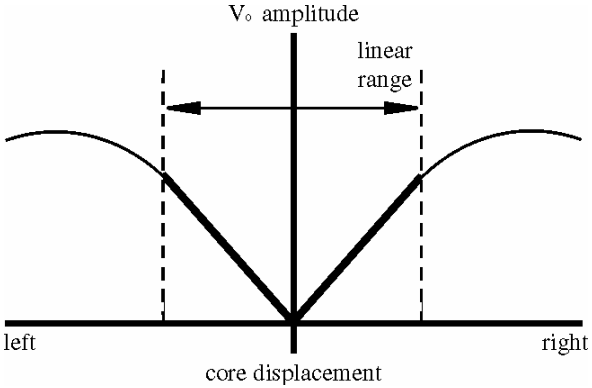




เป็นการแปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงเพื่อที่ให้ง่ายต่อการอ่านค่า

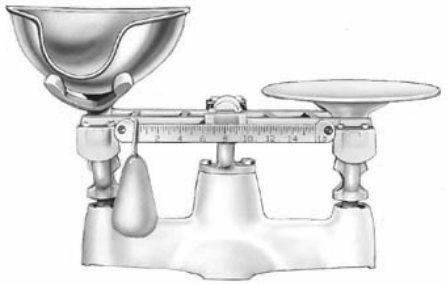


- สัญญาณกระแสตรงที่ได้จะออกมาดั่งรูปโดยที่มีช่วงเส้นตรงบางส่วนซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของ LVDT
- ความเที่ยงตรงของ LVDT อยู่ที่ระดับ 0.0001 mm



2. การวัดมวล

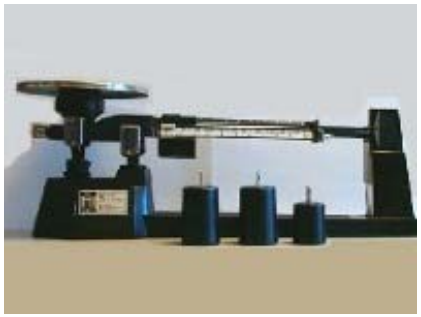
- ใช้การเปรียบเทียบของน้ำหนักมาตรฐานที่อยู่ภายให้แรงโน้มถ่วงของโลกเดียวกัน โดยใช้ตราชั่ง ที่ออกแบบมาอย่างดีให้มีความยาวแขนเท่ากันและไม่ติดขัด



- หลักโมเม้นต์

$$M = r \times F$$

การใช้น้ำหนักมาตรฐานไม่สะดวกในการใช้วัดน้ำหนักจึงได้มีการประดิษฐ์ตาชั่งแบบที่ใช้แขนไม่เท่ากันและปรับได้โดยใช้หลักกการของโมเม้นต์เข้าช่วยทำให้สามารถเปรียบเทียบน้ำหนักได้



หรือเป็นแบบลูกตุ้ม แต่สเกลที่จะได้จะไม่เป็นเส้นตรง

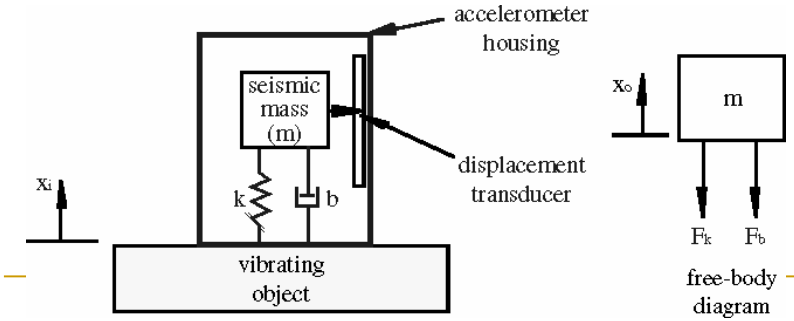
- **หลักโมเม้นต์**

$$M = r \times F$$

3. การวัดความเร่ง

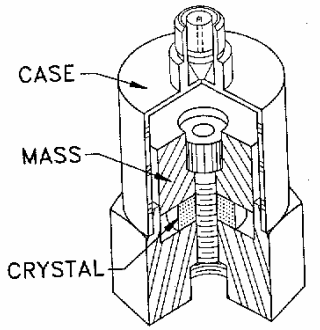
3.1) Seismic Transducer

เป็นเครื่องมือวัดความสั่นไหวโดยใช้ ระบบสปริง-มวล-ตัวหน่วง ติดตั้งอยู่ในโครงสร้างป้องกัน ซึ่งให้สัญญานออกมาสองชนิดคือ การเคลื่อนไหวและความเร่ง น้ำหนักถ่วงและการขจัดของสปริงจะใช้บอกความเร่ง และขนาดของความเร่งที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับการปรับตั้งค่าความแข็งของสปริงและตัวหน่วง



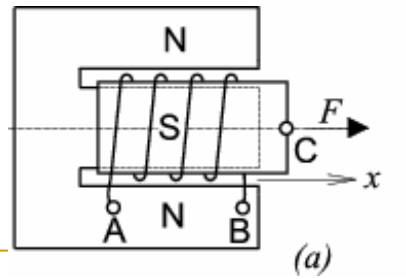
3.2) Shock & Vibration

เมื่อมีความเร่งสูงมาก ก็สามารถสร้างความเสียหายรุนแรงได้ เครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับความเร่งสูงๆ คือ piezoelectric transducer โดยใช้ piezoelectric crystal แทนที่สปริงและยังใช้น้ำหนักกด เมื่อเกิดแรงสั่นสะเทือนแรงกดที่เปลี่ยนแปลงบน crystal เกิดสัญญาณในความถี่ตั้งแต่ 0.03 ถึง 10000 Hz



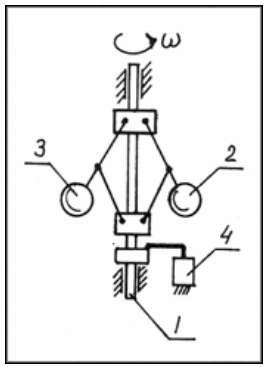
4. การวัดความเร็ว

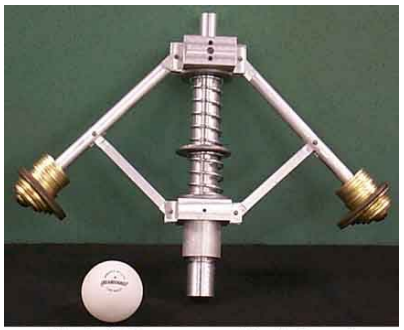
- การวัดความเร็วในแนวเส้นตรงใช้การวัดเปรียบเทียบระหว่างจุดสองจุด
- แต่ถ้าในกรณีที่ต้องทำการวัดต่อเนื่องจะใช้การวัดความเร็วเชิงมุมแทนแล้วค่อยนำมาวิเคราะห์ความเร็วเชิงเส้น
- ในรูปเป็นการวัดความเร็วแบบขดลวดเคลื่อนที่ ซึ่งใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ขดลวดที่เคลื่อนที่จะสร้างแรงดันไฟฟ้าออกมาที่ปลายสาย



การวัดความเร็วเชิงมุม

ใช้หลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ที่สัมพันธ์กับความเร็วเชิงมุม

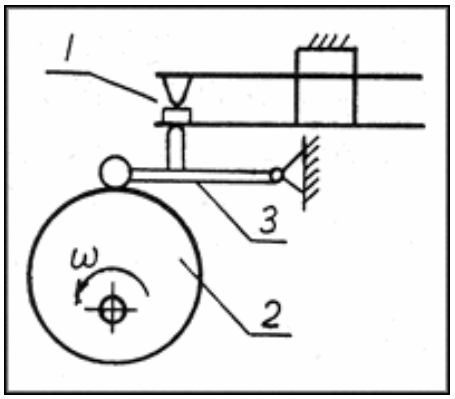




Fly-ball Governor -- Mark Barret

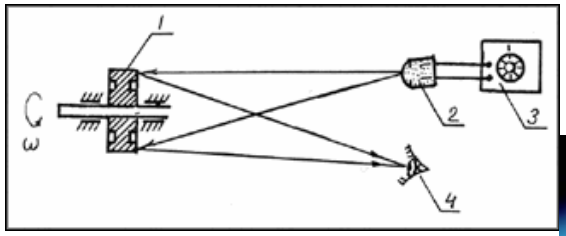
การวัดความเร็วเชิงมุม

- counter หรือ ตัวนับรอบ ใช้ควบคู่กับนาฬิกาจับเวลา เพื่อคำณวณความเร็วเชิงมุม



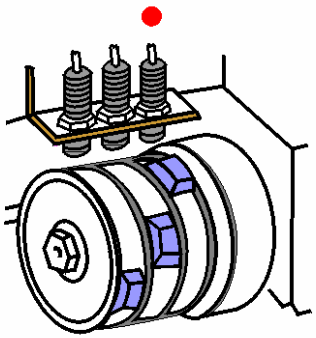
การวัดความเร็วเชิงมุม

- ใช้หลักการของการยิงแสงเป็นจังหวะ เข้าใส่จุดอ้างอิงบนส่งที่หมุน ถ้าจังหวะที่ยิงแสงออกมาพอดีกับจุดอ้างอิงที่หมุนอยู่จะมองด้วยตาเห็นว่าจุดอ้างอิงอยู่กับที่ แสดงว่าวัตถุหมุนด้วยความเร็วรอบเดียวกับจังหวะที่แสง strobe light จึงสามารถคิดออกมาเป็นความเร็วรอบได้



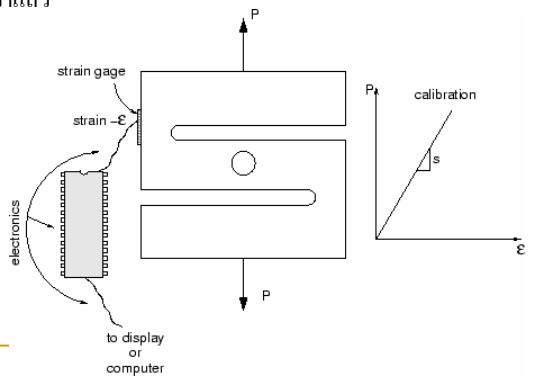
การวัดความเร็วเชิงมุม

- Proximity switch ใช้จับวัสดุโลหะ
- เมื่อมีวัสดุโลหะ เข้ามาใกล้ตัว proximity จะทำการปล่อยเปิดญญาณไฟฟ้า เมื่อไม่มีโลหะก็จะไม่มีสัญญาณ จะมีสัญญาณเปิดปิดเป็นจังหวะอยู่ตลอดเวลาที่มีการหมุน สามารถนำมาใช้คำณวณความเร็วเชิงมุมได้



5. การวัดแรง

นอกจากการติดตั้งสเตรนเกจที่ผิวของชิ้นงานเพื่อใช้ในการวัดค่าแรงโดยตรงแล้ว ยังสามารถใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า โหลดเซล (Load Cell) ที่สร้างจากโลหะและทำการติดสเตรนเกจไว้ใช้งานร่วมกับสเตรนเกจเพื่อแปลงความเครียดที่เกิดจากแรงกระทำให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้า ซึ่งปกติแล้วจะทำการสอบเทียบมาแล้ว



โหลดเซลมีหลายแบบเช่น

- แบบที่ใช้การบิดของแท่งโลหะ bending beam
- หรือ แบบที่ใช้แรงเฉือนเป็นตัววัด shear beam
- อีกทั้งบางชนิดยังใช้ piezoelectric เป็นตัวอ่านค่าสเตรน

การวัดค่าแรงจำเป็นต้องทราบว่าแรงนั้นเป็นแรงชนิดใด

- แรงดึง แรงอัด
- แรงดัด
- แรงบิด

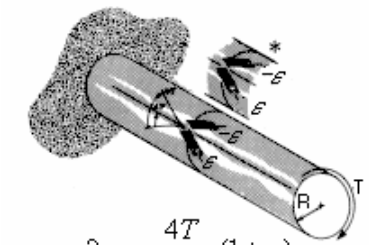
การเลือกใช้อุปกรณ์หรือการออกแบบวิธีวัดค่าแรงต้องออกแบบหรือเลือกอุปกรณ์ให้เหมาะกับแรงนั้นๆ

การวัดแรงบิด (Torque Measurement)

การวัดแรงบิด โดยทั่วไปมีวิธีที่นิยมในการวัดอยู่ 2 วิธีด้วยกัน

1. ใช้สเตรนเกจวัดแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนผิวของเพลาขับ ค่าสเตรนที่ได้จะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าแรงบิด
2. ใช้ Load cell ในการวัดค่าแรงบิด ที่ระยะแขนของแรงบิดที่ทราบค่า

แรงบิด (Torque, T)
= โมเมนต์บิด (Torsional moment, M_t)



$$\gamma_{max} = 2\varepsilon = \frac{4T}{\pi ER^3}(1+\nu)$$

การวัดค่าแรงบิด (Torque, T) โดยใช้สเตรนเกจ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress, τ) ที่ผิวของเพลา กับค่าแรงบิด (torque, T) คือ

$$T = \tau . W_p \quad ,[\text{N.m}]$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด(ε) และแรงเฉือนคือ $\gamma = 2\varepsilon$

จากกฎของฮุค (Hook's law) ค่าความเค้นเฉือนสามารถหาได้จาก

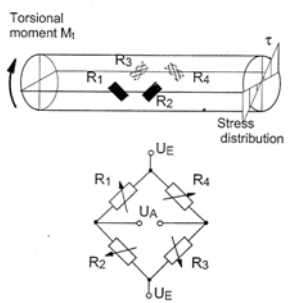
$$\tau = \gamma . G = 2\varepsilon . G$$

เมื่อ Shear modulus (G) คือค่าคงที่ของวัสดุ

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad ,[\text{N/m}^2]$$

และ E = Young's Modulus(N/m^2)

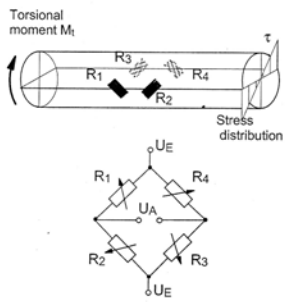
μ = Poisson's ratio



เมื่อ section modulus (W_p) ของเพลากลมคำนวณจาก $W_p = \frac{\pi.d^3}{16}.$,[m^3]

จากการจัดวาง strain gauge 4 ตัว ในวงจรบริดจ์ ซึ่งแต่ละตัวทำมุม 45° ซึ่งกันและกัน บนผิวของเพลา จะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าขาออก U_A และขาเข้า U_E เป็นดังนี้ (เมื่อ k คือค่า Gauge Factor)

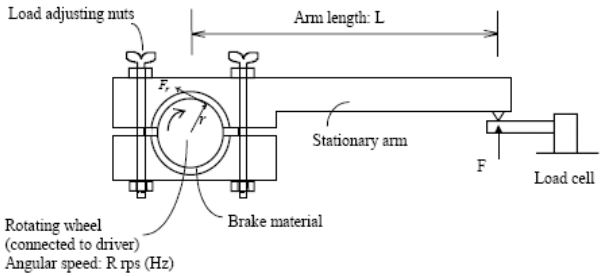
$$\varepsilon = \frac{1}{k}.\frac{U_A}{U_E}.$$



ดังนั้น แรงบิดจึงหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$T = \frac{2}{k}.W_p.G.\frac{U_A}{U_E}.$$,[N.m]

การวัดค่าแรงบิด (Torque, T) โดยใช้ Load Cell



แรงบิด $(T) = F \times L$ (Nm, ft - lbf)

แรง "F" วัดได้โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Load Cell

ระยะแขน "L" แขนของแรงบิดซึ่งจะถูกกำหนดให้เป็นค่าตายตัว

6. การวัดค่ากำลังงานของเพลาภายใต้แรงบิด

กำลังงาน (P) ที่เกิดจากแรงบิดคือ ผลคูณระหว่างแรงบิดและความเร็วเชิงมุม (ω)

$$P = \omega.T \quad , [W]$$

$$\omega = 2\pi r$$

เมื่อ (r) คือความเร็วรอบของการหมุนเพลา [รอบ/วินาที], [rev/s], [rps]

โดยปกติเครื่องมือวัดรอบส่วนใหญ่จะให้ค่าออกมาเป็น ความเร็วรอบของการหมุนในหน่วย [รอบ/นาที], [rev/min], [rpm]

หากกำหนดให้ n คือความเร็วรอบการหมุนในหน่วย [rpm] ดังนั้น

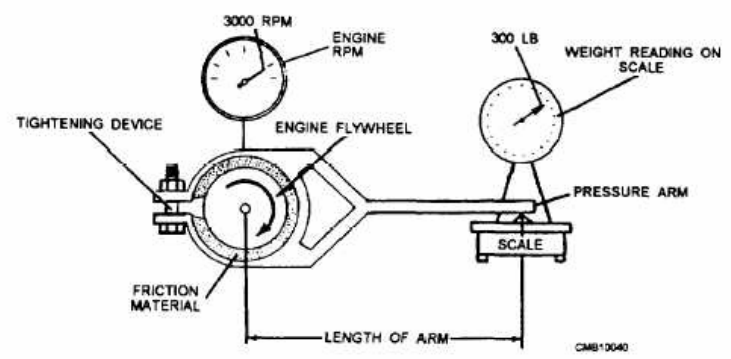
$$P = \frac{2\pi n}{60}.T \quad , [W]$$

หน่วยของกำลังงาน

1 [W] = 1 [Nm/s],

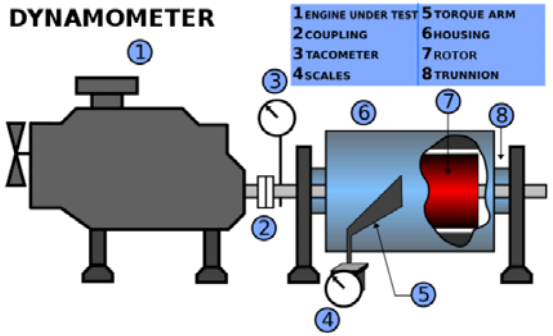
1 [HP] = 550 [ft.lbf/s] = 745.70 [W]

การทดสอบแรงม้าหรือกำลังของเครื่องยนต์



Dynamometers (Dyno)

ไดนาโมมิเตอร์ = เครื่องมือวัดกำลัง จากต้นกำลังหรือเครื่องยนต์ ที่ใช้การต่อโหลดหรือภาระเข้ากับเครื่องยนต์ดังกล่าวแล้วทำการวัดค่าแรงบิด (torque) และ จำนวนรอบการหมุน (RPM) จากเครื่องยนต์ที่ส่งกำลังออกมา



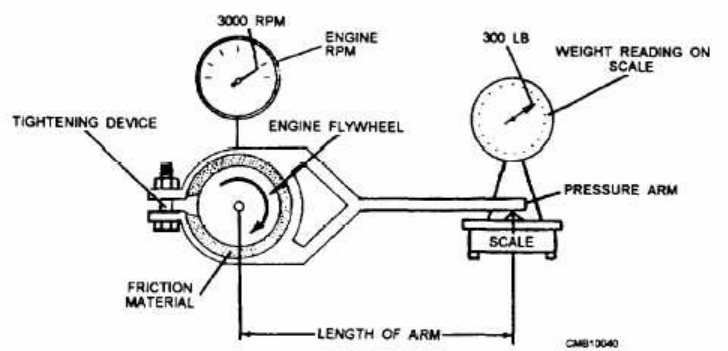
กำลังงาน (P) = แรงบิด (T)× รอบ (rpm)

$$\text{แรงบิด } (T) = F \times L \quad (\text{Nm, ft - lbf})$$

แรง "F" วัดได้โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Load Cell

ระยะแขน "L" แขนของแรงบิดซึ่งจะถูกกำหนดให้เป็นค่าตายตัวสำหรับ Dynamometer นั้นๆ

รอบ (rpm) วัดได้โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่องมือวัดความเร็วรอบ TACHOMETER



ประเภทของ dynamometer

1. Absorption type (Engine Dyno)

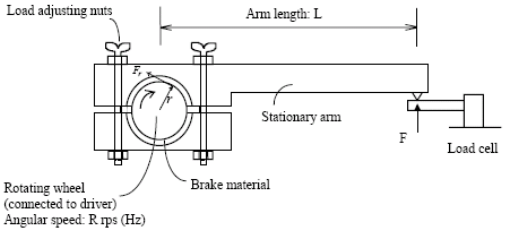
เป็น Danamometer ที่ใช้ต่อตรงกับเครื่องยนต์หรือต้นกำเนิดพลังงานเช่น เครื่องยนต์สันดาปภายใน เครื่องยนต์กังหันก๊าซ มอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อที่จะทำการแปลงค่าพลังงานกล ให้เป็นค่าแรงบิด หรือกำลังงานของเครื่องยนต์หรือต้นกำเนิดพลังงานดังกล่าว

2. Driving type (Chassis Dyno)

เป็น dynamometer ที่ใช้วัดค่าแรงบิด หรือกำลังงาน โดยการ จ่ายพลังงานกลให้แก่อุปกรณ์ที่ต้องการวัดเช่นการวัดวัดค่าแรงบิด หรือกำลังงาน จากปั๊มและคอมเพรสเซอร์ ซึ่งต่างต้องการพลังงานจากต้นกำเนิดพลังงาน

Prony brake, Mechanical Friction brake

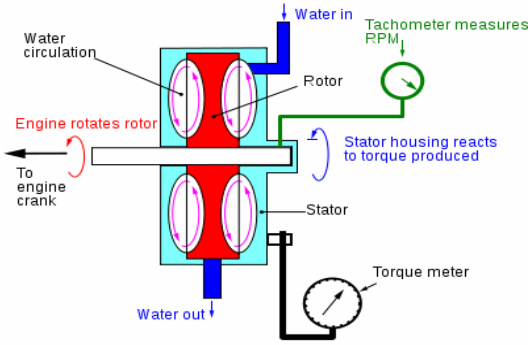
เดิมเป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้วัดค่ากำลังงานเพลาของเครื่องยนต์ (engine's shaft power)



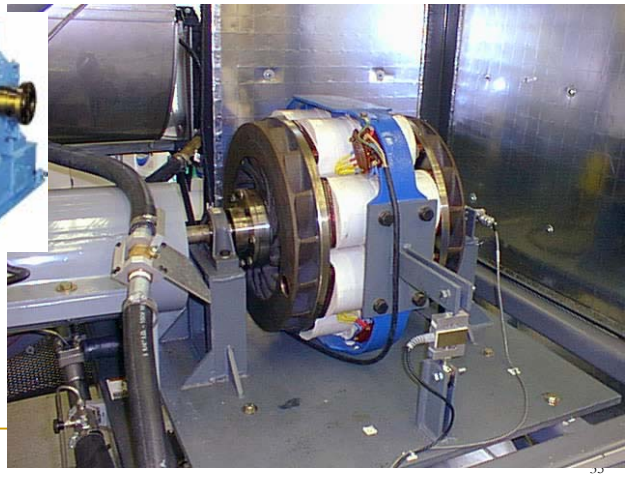
The Prony brake serves to provide a well-defined load for the engine, with the output power of the engine dissipated as thermal energy in the braking material. By adjusting the load, the output power over a range of speeds and throttle settings can be realized.

Water brake,

ใช้หลักการเหมือนกับ dynamometer ชนิด Prony brake แต่ใช้ความเสียดทานของของเหลวมาเป็นตัวแปลงพลังงานแทน



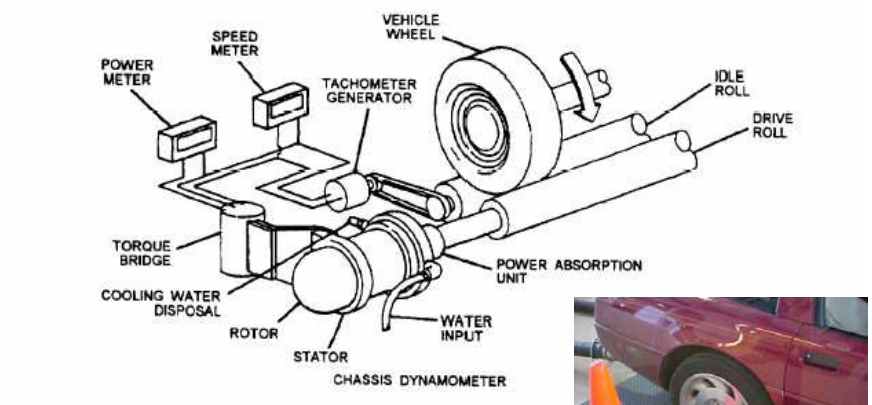
Engine Dyno



2. Driving type (Chassis Dyno)

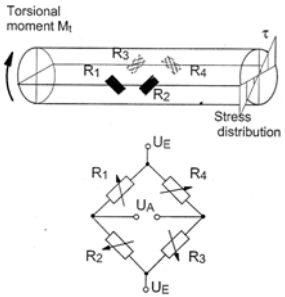
เป็น dynamometer ที่ใช้วัดค่าแรงบิด หรือกำลังงาน โดยการ จ่ายพลังงานกลให้แก่อุปกรณ์ที่ต้องการวัดเช่นการวัดวัดค่าแรงบิด หรือกำลังงาน จากปั๊มและคอมเพรสเซอร์ ซึ่งต่างต้องการพลังงานจากต้นกำเนิดพลังงาน

Chassis Dyno



ตัวอย่าง

1) ในการวัดค่าแรงบิด โดยใช้สเตรนเกจดังรูปเมื่อกำหนดให้.



Length (L):	500 mm
Diameter (D):	10 mm
Section modulus (Wp):	196.3 mm^3
Shear modulus (G):	80000 N/mm^2
Young modulus (E):	191000 N/mm^2
Poisson's ratio (μ):	0.305
Strain gauge element:	Full bridge 350 Ω
The sensitivity factor (k);	2.05

จงคำนวณหาค่าแรงบิดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการวัดอัตราส่วนแรงเคลื่อนไฟฟ้าขาออกต่อขาเข้าได้ที่ 0.005

ตัวอย่าง

2) จากรูปจงคำนวณหากำลังของเครื่องยนต์ดังกล่าวหากกำหนดระยะแขนของแรงบิด เท่ากับ 50cm.