

轉動平衡(Rotating Balancing)實驗

壹、 實驗目的

機械常因質量分佈不均或安裝偏心等引起振動，此種因質量不均所引起的動態不平衡，可在系統的適當位置，加上校正質量，使振動程度降低。本實驗以馬達驅動同一軸上的兩個轉輪，用兩面平衡法(Two-Plane Balancing)來降低振動量。

貳、 實驗地點：

綜一館 1620 室，動態系統實驗室。

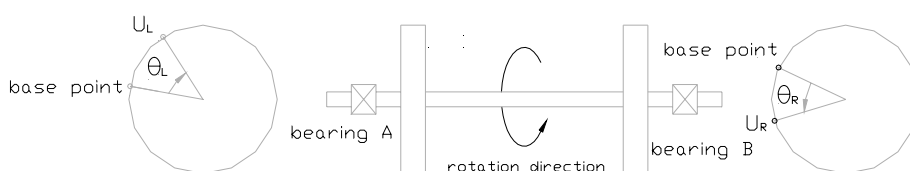
參、 實驗儀器

- 1.轉輪振動實驗臺一座，上附三相馬達一個。
- 2.直流電源供應器兩部。
- 3.示波器一部(HP54601B)。
4. Proximitor 兩只。
- 5.光感應器(Photo Sensor)與腳架一組。
- 6.試驗質量數顆(由螺絲釘製成，可鎖入轉輪孔中)。

圖一、實驗裝置圖

肆、 實驗原理

機械之運轉常因偏心或質量不均而引起振動。下圖圖二之旋轉長軸，因軸上轉輪質量不均，而造成動態不均。(所謂動態不平衡係指力矩無法平衡。)



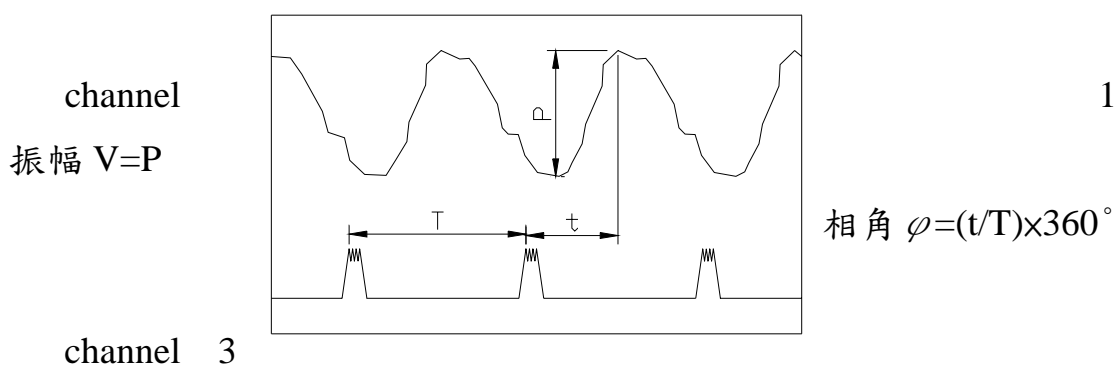
左轉輪左側視圖(內圈刻度)

右

轉輪右側視圖(外圈刻度)

圖二、轉輪質量不均，使長軸旋轉時，無法達到動態平衡。

假設 U_L 與 U_R 為左右兩轉輪之最初不平衡質量，為表示其大小與相對於基準點的位置，以複數表示為 $U_L=U_L \angle \theta_L$ 與 $U_R=U_R \angle \theta_R$ 。當轉軸以 ω 轉速旋轉時，在左右兩軸承A、B處引起振動振幅 V_A 、 V_B 和相角 ϕ_A 、 ϕ_B ，可用複數表示成 V_A 與 V_B 。為了取得 V_A 、 V_B 、 ϕ_A 與 ϕ_B ，吾人利用Proximitator置於軸承座旁，再將Proximitator的輸出電壓送進示波器，在示波器上以圖三的方法求出振幅與相角。(示波器上有兩個游標鍵，可以讀取兩游標間的橫座標差或縱座標差。)



channel 3 訊號高起處係反光貼紙使 photo sensor 之信號增強所致。

注意：依此測法， φ 角係由基準點起，依軸轉動之逆方向計算(見圖二)。

圖三、波形之振幅與相角量測 (示波器畫面)

假設引起的振動量 V_A 、 V_B 和不平衡質量(未知) U_L 、 U_R 有線性相關如下：

$$V_A = A_{AL}U_L + A_{AR}U_R \quad (1)$$

$$V_B = A_{BL}U_L + A_{BR}U_R \quad (2)$$

其中 A_{ij} 可視為此系統之特性(未知)，表示當有一單位質量作用於 j 平面上時，在 i 軸承處所造成的振動量($j=L,R$ ； $i=A,B$)。在式(1)、(2)中， V_A 與 V_B 可由示波器測得， A_{ij} 均為未知，因此吾人無法得到 U_L 與 U_R ，因此必須設計以下之程序來求得 A_{ij} 。

首先在L平面加上一已知的試驗質量 $M_L = M_L \angle \theta_L$ ，並注意所有的角度均以轉輪旋轉之逆方向為正。為持相同的轉速 ω ，測此時之振動量 V_A^L 與 V_B^L ，在非時變(Time Invariance System)假定下，仿式(1)、(2)得

$$V_A^L = A_{AL}(U_L + M_L) + A_{AR}U_R \quad (3)$$

$$V_B^L = A_{BL}(U_L + M_L) + A_{BR}U_R \quad (4)$$

式(3)、(4)分別減去式(1)、(2)得

$$A_{AL} = (V_A^L - V_A) / M_L \quad (5)$$

$$A_{BL} = (V_B^L - V_B) / M_L \quad (6)$$

接著自L平面(左轉輪)取下 M_L ，另外在R平面(右轉輪)加上一試驗質量 $M_R = M_R \angle \theta_R$ ，再令此轉軸以相同轉速 ω 旋轉，測此時的振動量 V_A^R 與 V_B^R ，同理可得

$$V_A^R = A_{AL}U_L + A_{AR}(U_R + M_R) \quad (7)$$

$$V_B^R = A_{BL}U_L + A_{BR}(U_R + M_R) \quad (8)$$

式(7)、(8)分別減去式(1)、(2)得

$$A_{AR} = (V_A^R - V_A) / M_R \quad (9)$$

$$A_{BR} = (V_B^R - V_B) / M_R \quad (10)$$

A_{ij} 既已知，便可由式(1)、(2)解出 U_L 與 U_R 如下：

$$U_L = (A_{BR}V_A - A_{AR}V_B) / (A_{AL}A_{BR} - A_{AR}A_{BL}) \quad (11)$$

$$U_R = (A_{AL}V_B - A_{BL}V_A) / (A_{AL}A_{BR} - A_{AR}A_{BL}) \quad (12)$$

U_L 與 U_R 既已求出，便可在L面加 $-U_L$ ，在R面加 $-U_R$ ，來抵消不平衡質量，而減輕系統的振動情形。亦即

$$B_L = -U_L = U_L \angle (\theta_L + 180^\circ) \quad (13)$$

$$B_R = -U_R = U_R \angle (\theta_R + 180^\circ) \quad (14)$$

因實驗誤差和理論假定與實際不符，在加上 B_L 與 B_R 後，若振動量未達理想或設計之要求水準，吾人必須仔細檢查實驗細節，或以加了 B_L 和 B_R 的系統為新系統，重覆上述步驟，直到振動情形降至要求水準以下。若仍未能達到要求，則需尋求其他方法。以上各式均以複數運算，請自備工程用計算機設定程式計算，即可求出 B_L 與 B_R 。

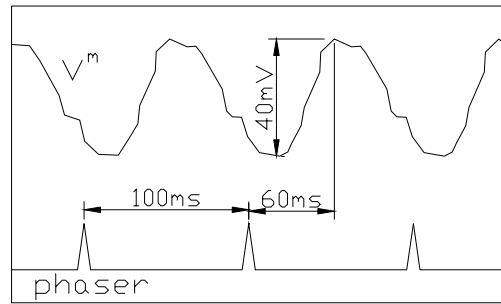
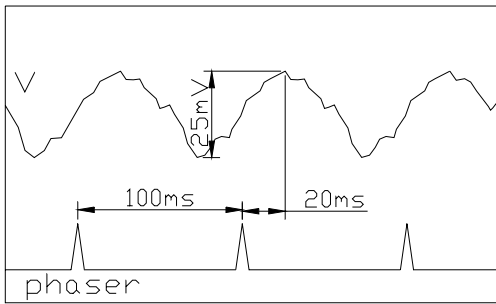
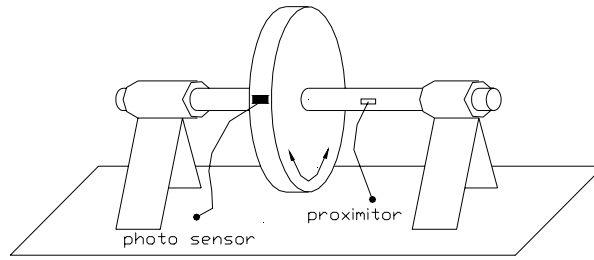
以上為兩面平衡法(Two-Plane Balancing)，可以平衡系統之不平衡力與力矩，又名動態平衡法(Dynamic Balancing)。對於轉軸短且轉輪只是單個，且厚度較薄的系統，只需求得力平衡的情形，可以只做單面平衡法(Single-Plane Balancing)，又名靜態平衡法(Static Balancing)。

伍、 實驗步驟

1. 確定轉輪振動實驗臺四周均無異物後，打開總電源、變頻器開關，調整變頻器頻率使轉輪維持適當之穩定轉速。
2. 由示波器讀取 V_A 及 V_B 的振幅與相位角。
3. 在左轉輪加上試驗質量 M_L ，由示波器讀取 V_A^L 及 V_B^L 的振幅與相位角；取下試驗質量 M_L ，另於右轉輪加上試驗質量 M_R ，亦由示波器讀取 V_A^R 及 V_B^R 的數據。
4. 計算系統的不平衡質量 U_L 及 U_R 。
5. 加上校正之平衡質量 B_L 與 B_R ，確認此時系統的振動量是否已降至要求的水準，若仍未達標準，則需重覆上述步驟，直至振動情形合於所求。

陸、 預習報告（每人一份，實驗前繳交）

1. 解釋下列名詞：(1)Trigger、(2)Triggering Level。（可參考普物及應用電子學實驗講義）
2. 用單面平衡法作轉動平衡實驗。首先由示波器上讀取未外加任何試驗質量時的 V 信號如圖(a)；接著加上試驗質量 $10.0 \angle 120^\circ$ ，讀得 V^m 信號如圖(b)；求欲得到轉動平衡所需加的平衡質量 $B \angle \theta_B$ 。（假設轉輪上的反光貼紙貼於 $\theta = 0^\circ$ 處。）



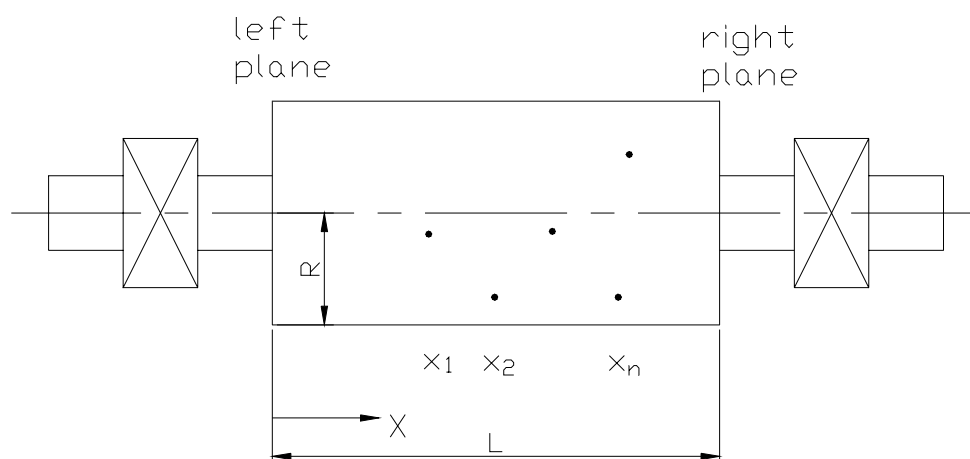
(a)

(b)

3.預習實驗講義後，依實驗順序列出應記錄的數據。

柒、 實驗報告（每人一份，實驗完成後一週內繳交）

1. 為何實驗中，馬達轉速需固定？
2. 理想的示波器上的波形為何？實驗中所觀察到的波形大致為何？為什麼不理想？
3. Proximito 的輸出電壓與位移成正比，為什麼實驗前後都未使用到位移與輸出電壓的關係？為什麼可以使用 Proximito 來進行量測？
4. 如下圖一長轉子，在距離左平面 x_i ($i=1,2,3,\dots,n$) 處有不平衡質量 m_i 與 θ_i ，在半徑 R 處與參考基準相距 θ_i 角。今欲在 L 面與 R 面之半徑 R 處，各加一校正質量 $B_L = m_L$ 與 $B_R = m_R$ 以達到系統的動態平衡，求 B_L 與 B_R ？



附錄：Proximitors 原理簡介

Proximitors are eddy-current noncontacting transducers. In this type of transducer (Fig. 1), the probe usually contains two coils, one (active) which is influenced by the presence of a conducting target and a second (balance) which serves to complete a bridge circuit and provide temperature compensation. Bridge excitation is high-frequency (about 1 MHz) ac. Magnetic flux lines from the active coil pass into the conductive target surface, producing in the target eddy currents whose density is greatest at the surface and which become negligibly small about three “skin depths” below the surface. Figure 1 gives formulas for computing skin depth δ and graphs of these formulas for the common excitation frequency of 1MHz. While thinner targets can be successfully employed, a minimum of three skin depths is recommended to reduce temperature effects. As the target comes closer to the probe, the eddy currents become stronger, which changes the impedance of the active coil and causes a bridge unbalance related to target position. This unbalance voltage is demodulated, low-pass filtered (and sometimes linearized) to produce a dc output proportional to target displacement. The high excitation frequency not only allows the use of thin targets, but also provides good system frequency response (up to 100 kHz).

Probes are commercially available with full-scale ranges from about 0.25 (probe about 2-mm diameter, 20 mm long) to 30 mm (76 mm-diameter, 40 mm long) nonlinearity of 0.5 percent, and maximum resolution 0.0001 mm. Targets are not supplied with the probes since the majority of applications involve noncontact measurement of existing machine parts (thus the part itself serves as target). Since target material, shape, etc., influence output, generally it is necessary to statically calibrate the system with the specific target to be used. For nonconductive targets, you must fasten a piece of conductive material of sufficient

thickness to the surface. Commercially available adhesive-backed aluminum-foil tape is convenient for this purpose. The recommended measuring range of a given probe begins at a “standoff” distance equal to about 20 percent of the probe’s stated range. That is, a probe rated at 0 to 1 mm range should be used at target-probe distances of 0.2 to 1.2 mm.

Flat targets should be about the same diameter as the probe or larger, if possible. Targets larger than the probe have little effect on the output; however, output drops to about 50 percent for target diameter one-half of probe diameter. Curved-surface targets such as the periphery of a circular shaft behave similarly to flat surfaces if the shaft diameter exceeds four transducer diameters. Special four-probe systems for measuring orbital motions of rotating shafts and various centering and alignment operations are available. While rotating-shaft measurements are routinely accomplished, special care may be necessary to deal with “electrical runout” in shafts made of ferromagnetic material (such as steel). This refers to a variation in magnetic permeability around the periphery of the shaft (resulting from inhomogeneities of heat treatment, hardness, etc.) which causes an electrical output even for a perfectly true-running shaft, thus giving false motion readings. If electrical runout is excessive, filtering, differential measurements using two diametrically opposed probes, nickel plating of the shaft, or shaft-surface grinding to remove hardness variations may help.

Fig.1 Eddy-Current Noncontacting Transducer

Fig.2 Target-material effect on eddy-current transducer