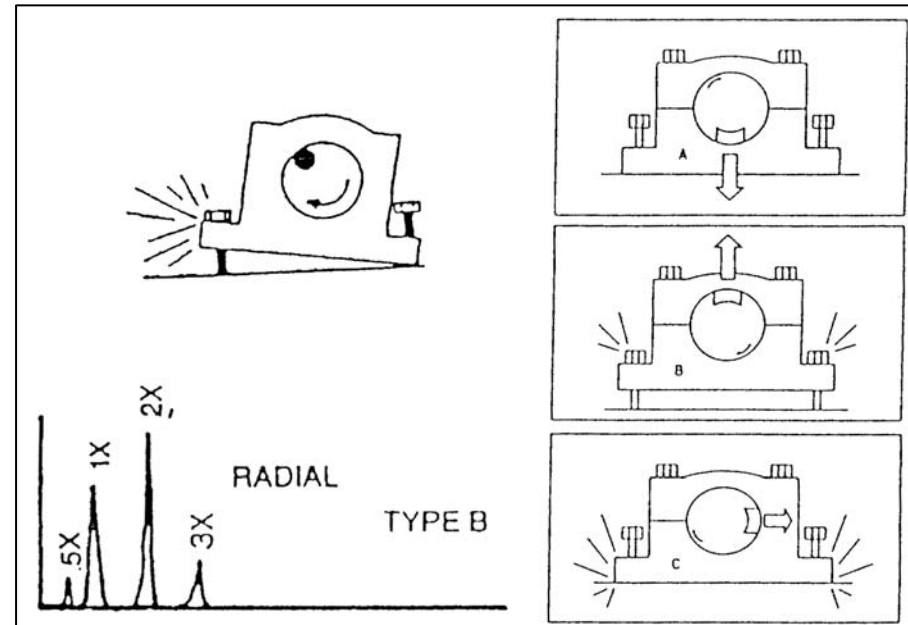
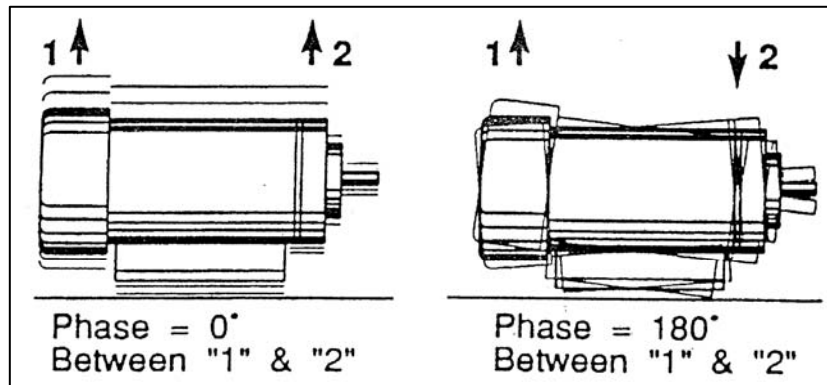


基礎振動分析技術

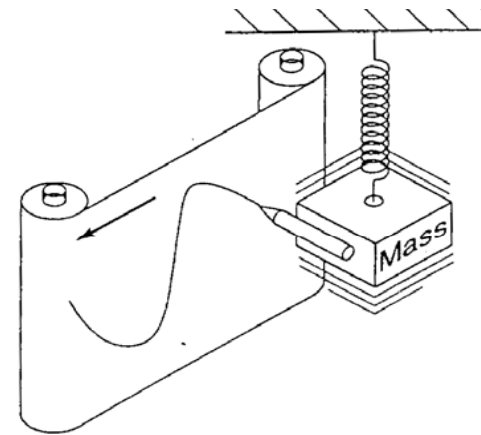
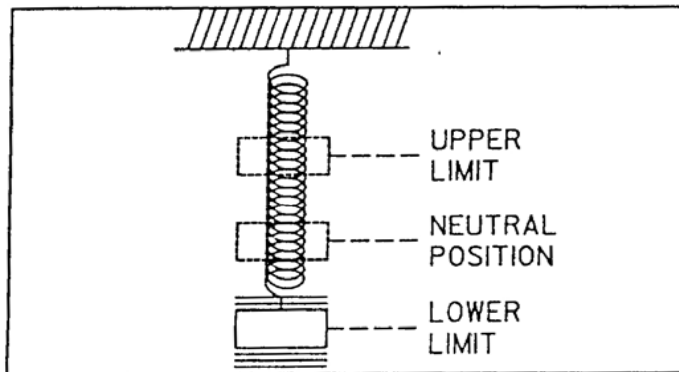


振動分析技術

在所有的非破壞性分析檢測訊號（電壓、電流、溫度、壓力等）中，能提供最豐富的訊號的就是振動訊號。一個完整的預知保養系統必須涵蓋所有訊號分析檢測技術，然而，不可諱言的，振動分析檢測技術始終是預知保養系統之根本。

何謂振動

振動是一物體相對於某一個參考點的往復式移動。以彈簧懸吊一物體為例，當物體被拉下再釋放後，倘若忽略所有摩擦、空氣阻力，則彈簧會以其原來的平衡點為基準，上下來回不停的移動。



位移、速度與加速度曲線

簡諧振動的位移曲線可以位移(x)和時間(t)為座標的正弦曲線來表示：

$$x = X \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

其中X為振幅， ω 為角速度 (rad/s)

上式經過一次微分之後可得速度曲線：

$$v = X \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

位移、速度與加速度曲線

速度曲線再經過一次微分之後可得加速度曲線：

$$a = -X \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

若以f為頻率，則代表速度及加速度值的最大振幅值V及A則為：

$$V = X \cdot \omega = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot X$$

$$A = X \cdot \omega^2 = (2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot X$$

形成振動的三大要素

振幅 (amplitude) — 代表振動之強度

頻率 (frequency) — 代表單位時間內的振動次數

相位 (phase) — 代表兩物體間的振動發生時間關係

振幅 (Amplitude)

振幅的單位有三種：

位移 (displacement)、速度 (velocity)、加速度 (acceleration) 最常使用的公、英制單位如表所示：

	位移	速度	加速度
公制單位	μm	mm/s	G's
英制單位	mils	in/s	G's

其中 $1.0 \text{ G's} = 9.81 \text{ m/sec}^2 = 386.4 \text{ in/sec}^2$

振幅 (Amplitude)

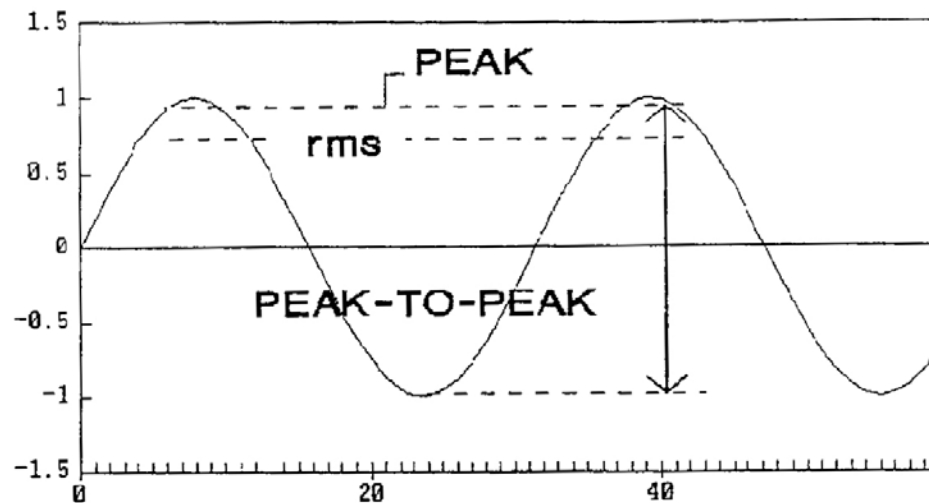
振幅大小的表示方式有四種：

➤ Peak值 (P或0-P)

➤ 均方根值 (RMS)

➤ Peak to Peak值 (P-P)

➤ 平均值 (Avg)



當波形為正弦波時，

$P-P \text{ 值} = 2 \times \text{Peak}$ ，

$\text{RMS 值} = 0.707 \times \text{Peak}$

$\text{Avg 值} = 0.637 \times \text{Peak}$

振幅 (Amplitude)

通常振幅表示方式的使用時機與振幅單位的選用有以下習慣性搭配：

	加速度值	速度值	位移值
Peak值	V	O	V
P-P值	X	X	O
RMS值	O	O	X
Avg值	X	X	X

註：O表示最常使用，V表示偶爾使用，X表示不使用

頻率 (Frequency)

機器設備的振動問題通常因為外力而引起，屬於一種強制振動，而不同強制振動通常會產生不同的振動頻率。

頻率的單位有：

CPM=cycle/min (每分鐘之振動次數)

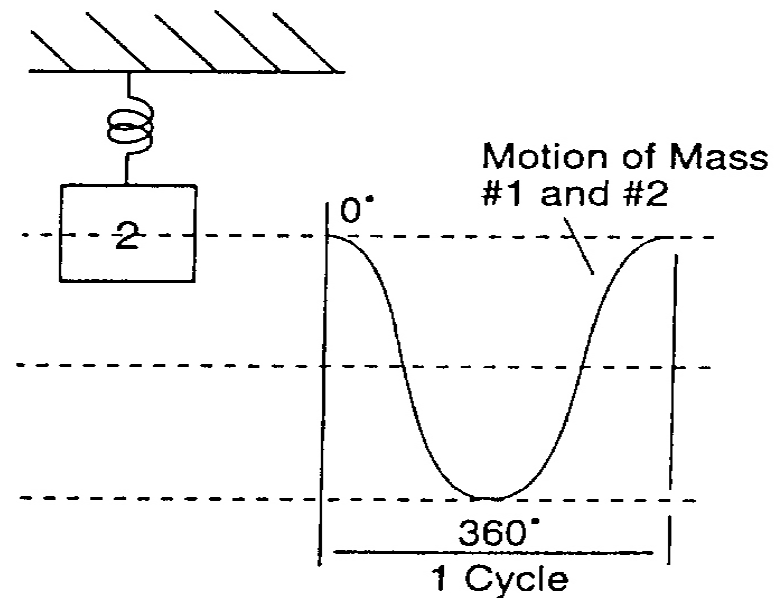
Hz=cycle/sec (每秒鐘之振動次數)

Order=cycle/rev (設備每迴轉一次之振動次數)

其中 $1 \text{ Hz} = 60 \text{ CPM}$

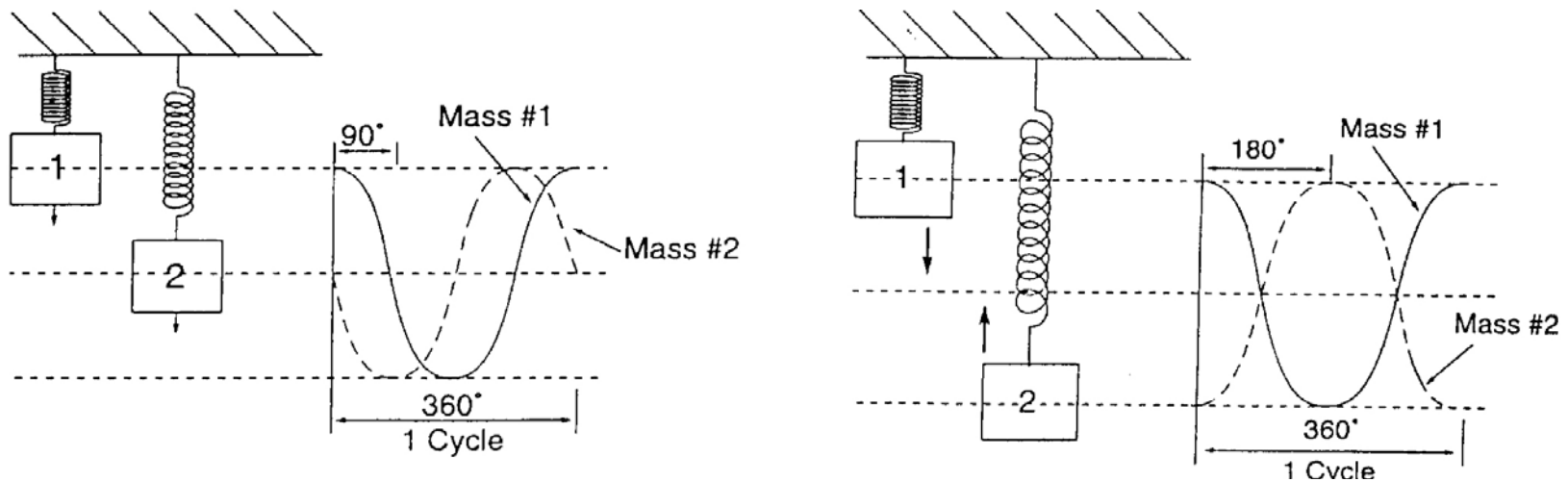
相位 (Phase)

相位(或稱相角)的單位為度(或 $^{\circ}$)，一個物體或一個量測點的往復一次的振動定義為360度。



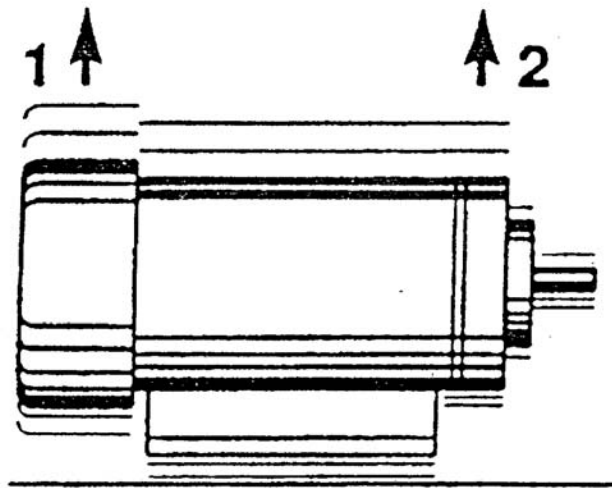
相位 (Phase)

欲量測相位時通常需要一個參考物體(或點)作比較，用於量測兩物體之間振動發生的時間關係(相位差)。

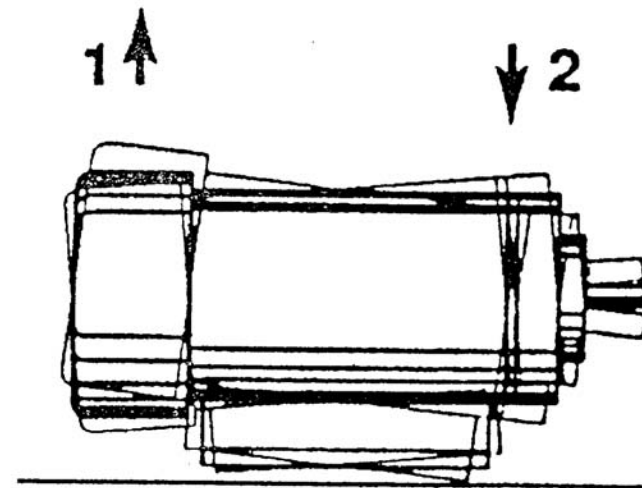


相位 (Phase)

相位通常使用於共振分析、模態分析，在實施動平衡校正工作時，相位分析更是確認不平衡位置的最重要工具。



Phase = 0°
Between "1" & "2"



Phase = 180°
Between "1" & "2"

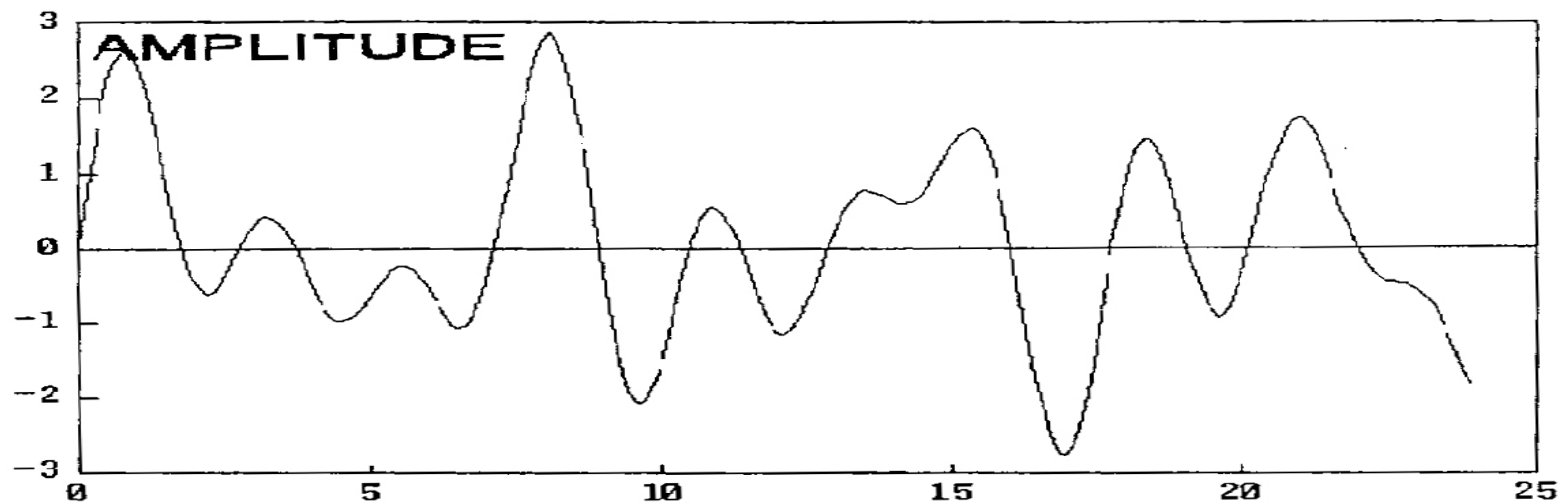
振動三大要素的另外涵義

任何振動訊號都是由不同的振幅、頻率及相位三大要素所組成，從事振動分析的前提為：三大要素對機械設備而言，都代表著不同的意義。

- 振幅大小代表設備運轉異常狀況之嚴重性
- 頻率分佈代表設備損壞或振動來源之所在
- 相位差異代表設備運轉所產生之振動模式

振動訊號圖- 時間波形

時間波形(Time Waveform)是以振幅對時間為座標的方式來表現振動訊號，時間波形分析對於初學者較為困難，從時間波形中最容易得到的訊息是有無衝擊現象，這是判斷軸承及齒輪等是否損壞很寶貴的訊息。

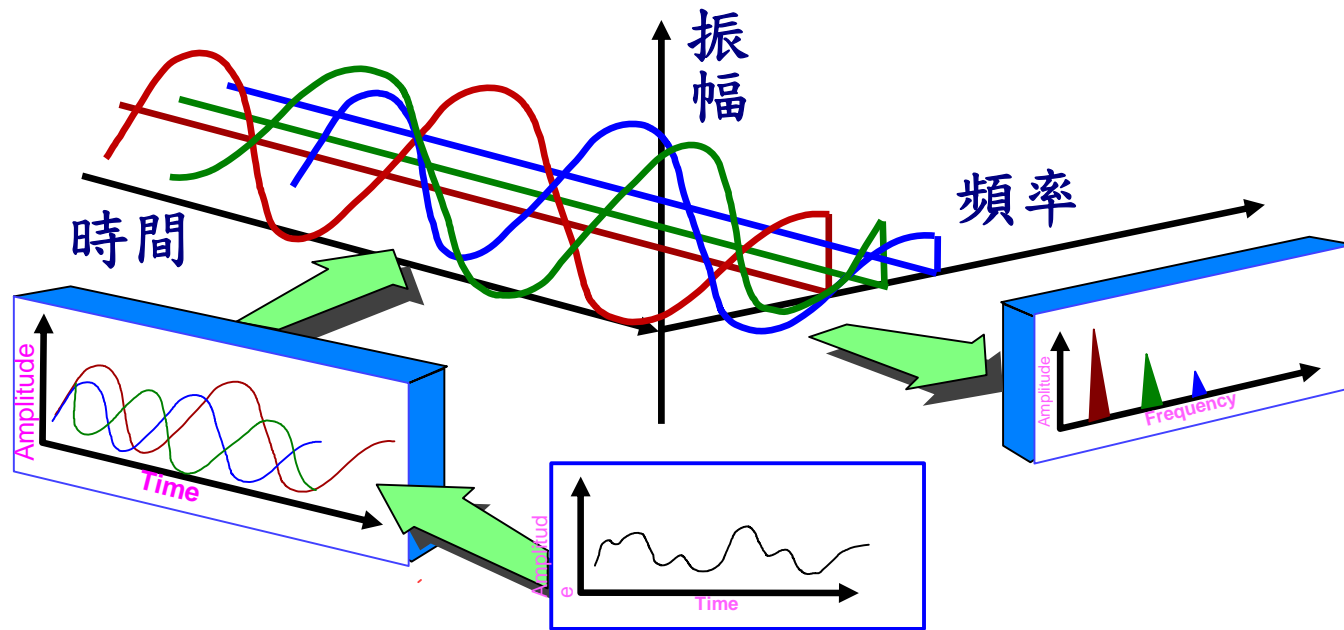


振動訊號圖- 頻譜

由於時間波形大都呈現相當複雜的訊號，致使設備振動問題分析工作相當不易，Baron Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830)提出一個想法，他認為一個系統複雜的時間波形振動模式可以由許多不同頻率與振幅的正弦波組成的訊號所取代，因此當系統所產生出來的時間波形即使不是單純的正弦波也可以經過轉換後產生無數個正弦波。

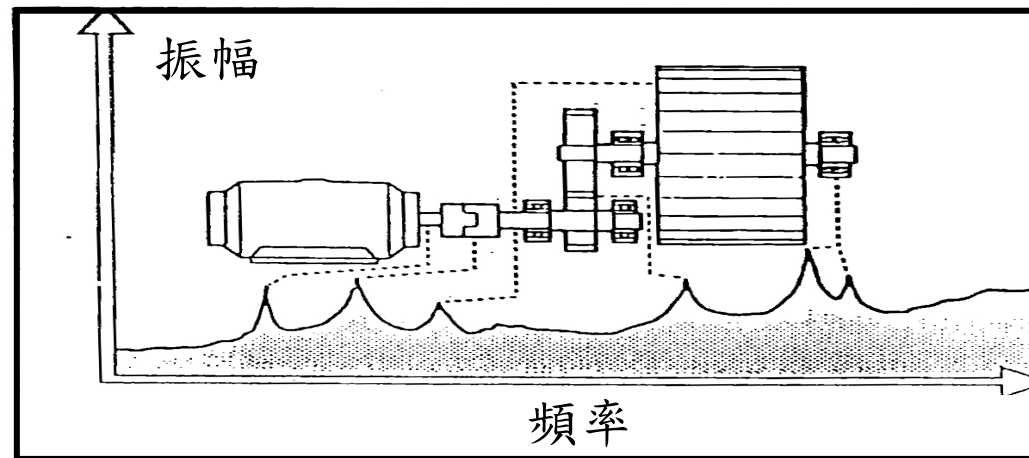
振動訊號圖- 頻譜

因此，透過傅利葉的想法，為使振動訊號變成較易診斷的訊號，而發展出將時間波形訊號經過快速傅利葉轉換（FFT）形成頻譜。



振動訊號圖- 頻譜

頻譜以振幅與頻率為座標，從設備上所量測到的各種不同頻率已被區隔開來，而且各個頻率都有不同的振幅值，如此我們已經掌握振動三大要素的其中兩項。從這兩項訊息中，即可大略判斷設備的問題根源及其嚴重程度。



振動問題分析改善步驟

振動問題分析改善的七個步驟：

1. 確認是否為振動問題。
2. 蒐集設備相關資料。
3. 研判設備可能發生之強制振動種類(模式)。
4. 決定量測點、量測工具及預備量測訊號種類。
5. 擷取振動訊號。
6. 分析振動訊號。
7. 出具分析診斷及改善建議報告書。

設備相關資料

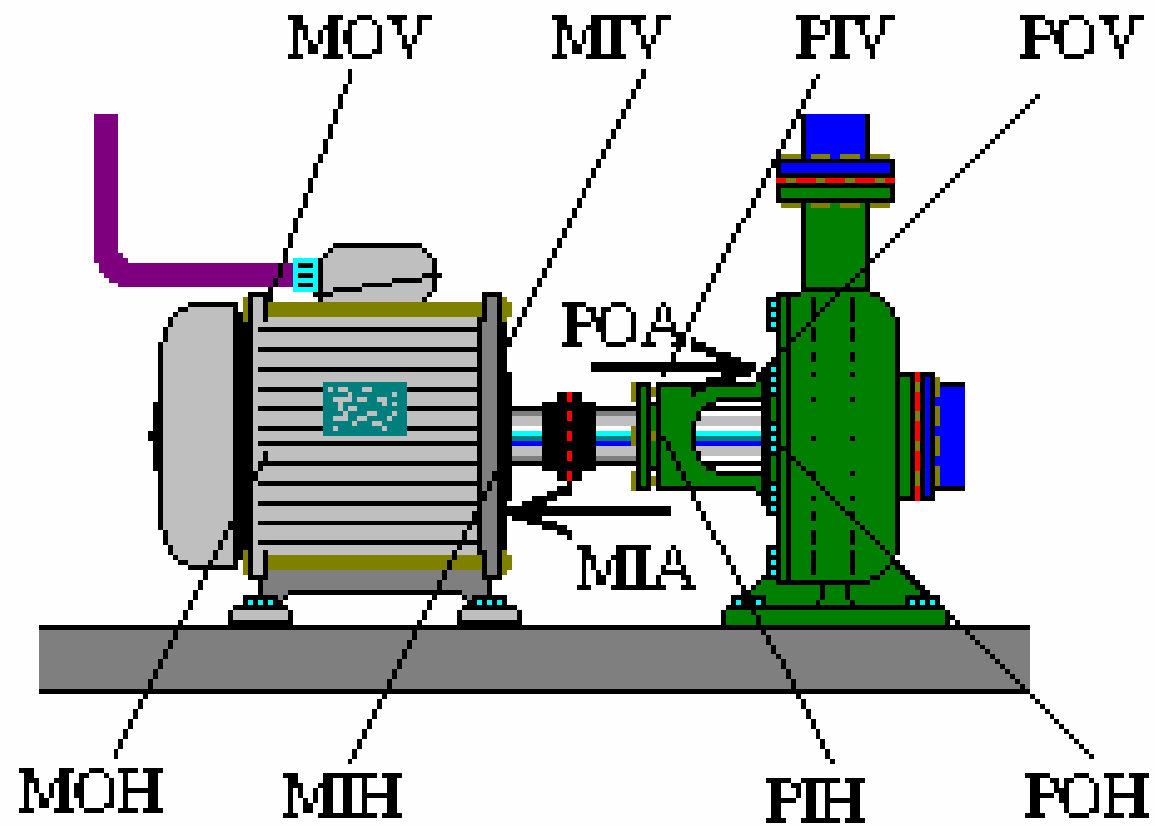
使用振動分析技術診斷機械問題時，必須盡可能蒐集掌握所有可以得到的資訊，其中包括：

1. 機械設備設計資料：工作轉速、軸承型號、設備型式、聯軸器型式、葉輪葉片數、齒輪齒數、電源頻率、管路設計等。
2. 現場感官檢視記錄：基礎、基座、固定螺絲、管路、軸承潤滑、軸承溫度、異音噪音、異常傳動等狀況。

設備相關資料

3. 損壞維修歷史記錄：各種保養週期、損壞原因、損壞情形、更換零組件、各種校正記錄等。
4. 其他檢測分析記錄：溫度趨勢、振動值趨勢、錶壓電壓、電流等。

振動量測點位置圖



振動訊號種類

各種振動分析訊號：頻譜、時間波形、相位分析、共振分析、模態分析等。所有分析訊號需考量儀器功能、設備特性、振動訊號本身，決定擷取該項訊號之必要性。

基礎振動頻譜分析法則

以下將針對最常見機械問題的頻譜加以說明，作為基礎頻譜分析之概念，惟於實際從事設備振動分析診斷時，應充分掌握前述之各種資訊，靈活運用振動原理及量測技巧，方能掌握設備真正問題及其嚴重性，切忌以套用簡易頻譜分析診斷法則，而給予設備錯誤診斷，切記一個錯誤的診斷除會增加保養成本外，亦會快速導致機械維修人員對振動分析技術喪失信心。

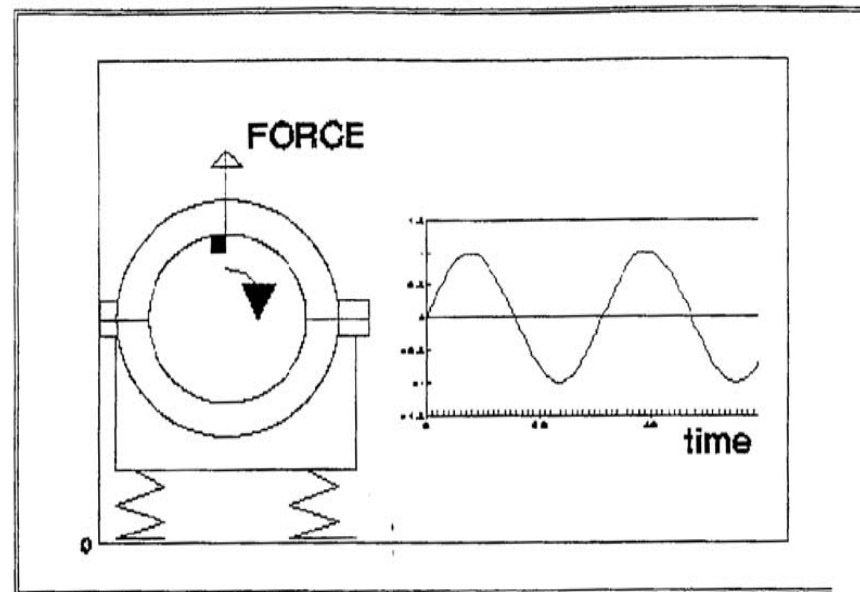
基礎振動頻譜分析法則

從事振動分析診斷者，應本振動分析第一法則：

「知之為知之，不知為不知，是知也。」當發現無法確認的問題時，適時請教振動分析專家，可避免錯誤診斷，亦可提昇自己的診斷技術。

平衡不良問題診斷

平衡不良的定義 –
當轉動件慣性軸心
線與轉動軸心線不
在同一直線上時，
此轉動件即為平衡
不良。



平衡不良問題診斷

造成轉動件不平衡的原因

- 轉動件本身形狀不對稱
- 加工製造上的公差
- 組裝安裝不當
- 轉動件於運轉時變形
- 轉動件破損磨耗
- 轉動件附著異物

平衡不良的振動特徵

- 振動頻譜主要發生於一倍轉速
- 振動方向通常都發生於徑向
- 軸向振幅很小，遠小於徑向之 $1/3$
- 不論在徑向或軸向，2倍、3倍、4倍或其他倍頻之振動，幾乎沒有

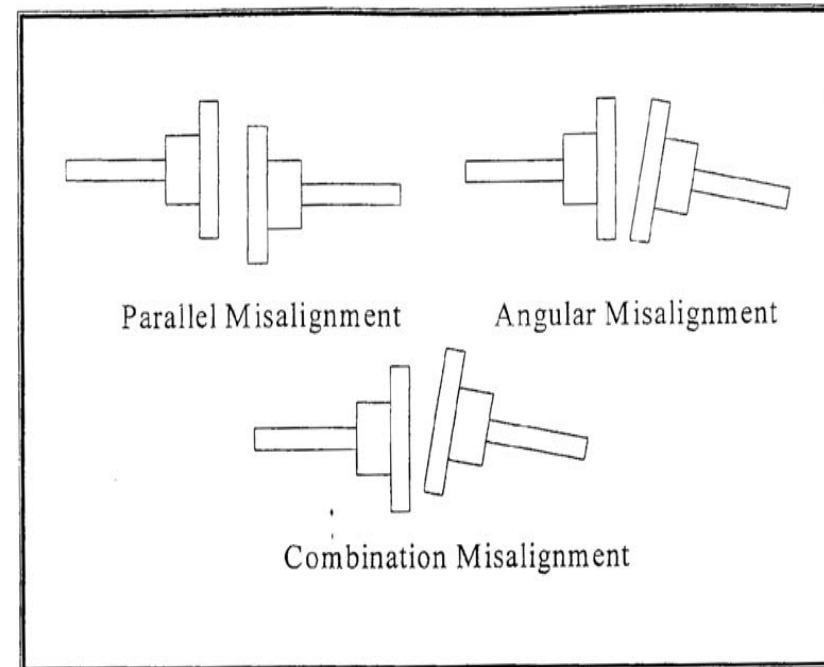


對心不良問題診斷

對心不良的定義 -

所謂對心不良是指聯結在一起的兩台設備的運轉中心線不在同一直線上。

對心不良的種類



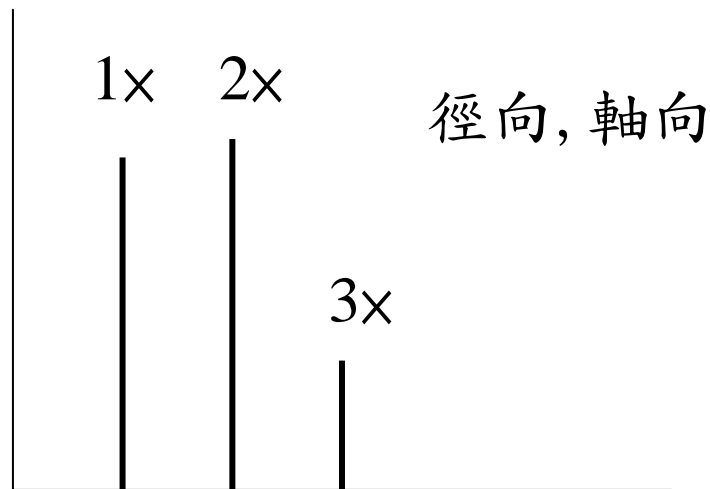
對心不良問題診斷

對心不良的徵狀

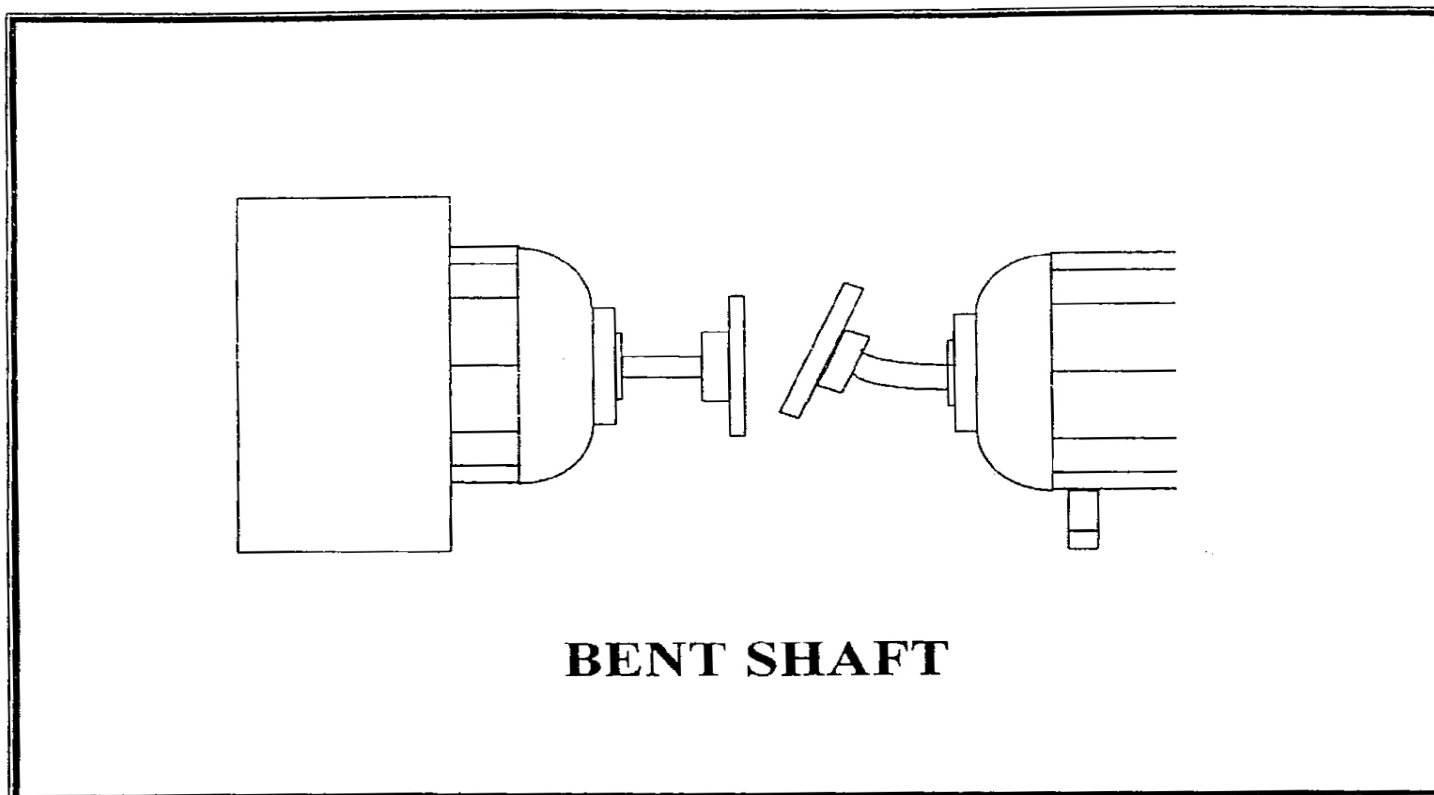
- 軸承、軸封、聯軸器、轉軸提早損壞。
- 軸承位置有高溫甚至大量排出潤滑油等現象。
- 基礎樁螺絲有鬆脫現象。
- 聯軸器間隙過大或破損。
- 聯軸器有高溫現象且橡塑膠聯軸器會有粉末排出。
- 馬達運轉電流偏高。
- 軸承損壞在軌道上有180度與內外對稱磨損現象。

對心不良的振動特徵

- 振動頻率主要發生於1倍、2倍或3倍轉速上
- 因大部份之不對心乃混合式不對心(角度式+平行式)，故振動方向同時來自於徑向和軸向

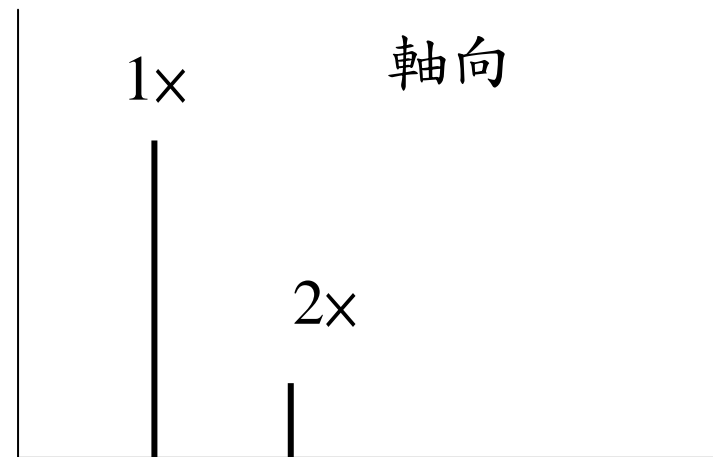


軸彎曲問題診斷



軸彎曲的振動特徵

- 軸中心處的彎曲會造成1倍轉速頻率之振動，振動方向主要發生於軸向
- 靠近聯軸器的彎曲會造成2倍轉速頻率之振動，振動方向亦發生於軸向



機械鬆動問題診斷

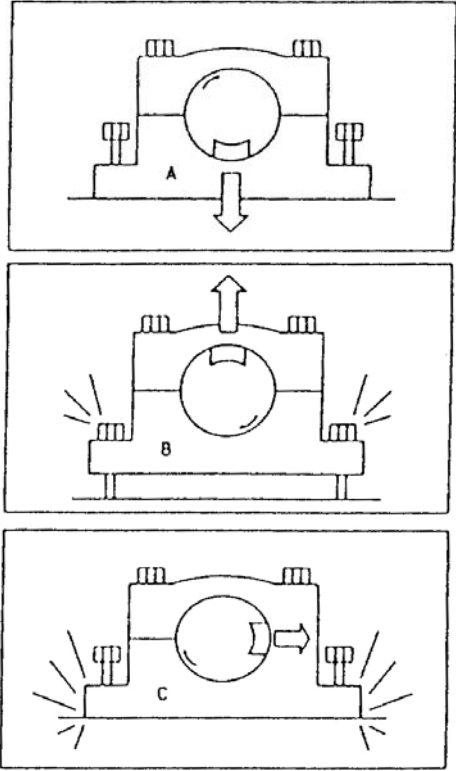
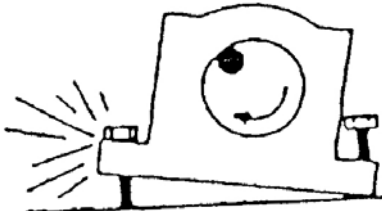
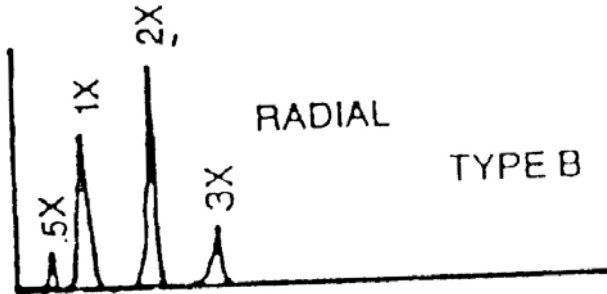


圖 軸承座鬆動

機械鬆動問題診斷

鬆動造成的原因大致可分為兩種

- 外鬆動

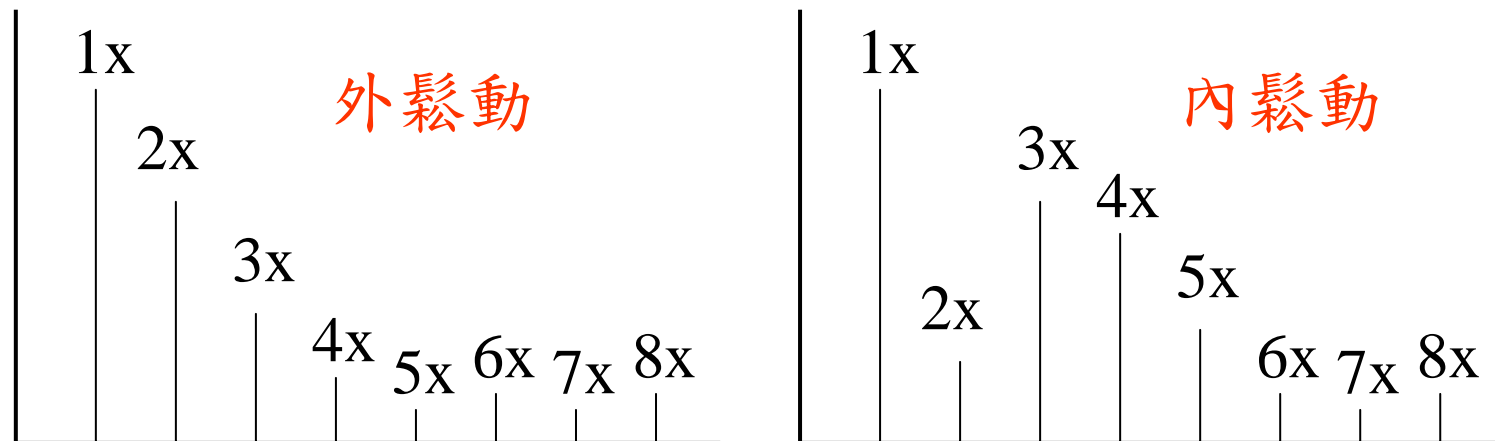
- 結構、底板、基礎鬆動或螺栓鬆脫

- 內鬆動

- 兩配合元件之鬆動如軸與軸承內圈、軸承蓋與軸承外圈、軸與葉片等配合不當

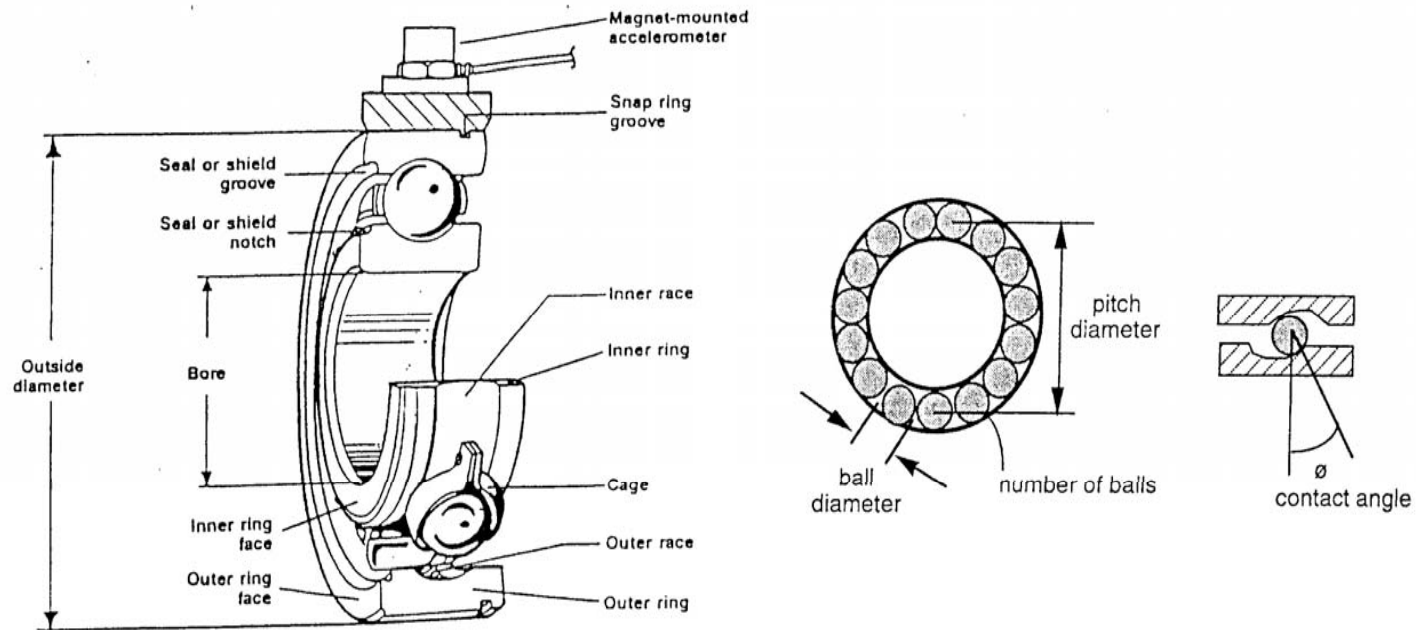
機械鬆動的振動特徵

不論外鬆動或內鬆動，頻譜均會顯示明顯之 $1x$ 、 $2x$ 、 $3x$ $7x$ 、 $8x$ 或更高之轉速頻率，且徑向和軸向都有相同特徵。而外鬆動與內鬆動的頻譜通常還是有些微不同之處。



滾動軸承損壞問題診斷

滾動軸承由四個主要元件組成 – 外圈、內圈、滾動件、保持器，四個元件各有其特有頻率。



滾動軸承損壞問題診斷

軸承滾動件損壞頻率 (Ball Spin Frequency, BSF) :

$$BSF = 1/2 \times RPM \times Pd/Bd \times (1 - (Bd / Pd \times \cos \phi) 2)$$

軸承內環軌道損壞頻率 (Ball Pass Frequency Inner Race, BPFI) :

$$BPFI = 1/2 \times RPM \times N \times (1 - Bd / Pd \times \cos \phi)$$

軸承外環軌道損壞頻率 (Ball Pass Frequency Outer Race, BPFO) :

$$BPFO = 1/2 \times RPM \times N \times (1 + Bd / Pd \times \cos \phi)$$

軸承保持器損壞頻率 (Fundamental Train Frequency, FTF) :

$$FTF = 1/2 \times RPM \times (1 - Bd / Pd \times \cos \phi)$$

其中 RPM : 軸之轉速

N : 軸承滾動件之數目

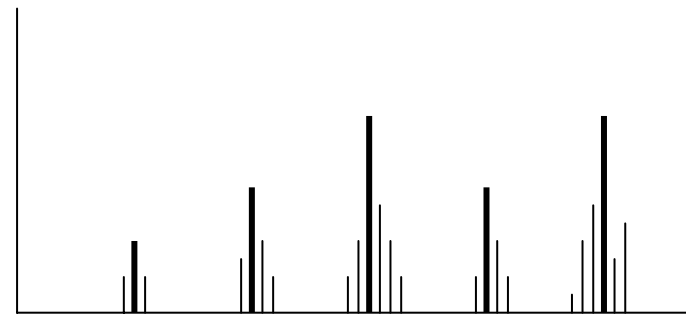
Pd : 軸承節徑

Bd : 軸承滾動件直徑

ϕ : 滾動件之接觸角

滾動軸承損壞的振動特徵

- BPF I 通常為轉速 $\times N \times 60\%$
- BPF O 通常為轉速 $\times N \times 40\%$
- FTF 通常為轉速 $\times 0.4 \sim 0.6$
- BSF 通常為轉速之 $2 \sim 4$ 倍
- 軸承元件損壞大部份均會產生HARMONIC並伴隨著轉速之旁波
- 標準之元件損壞順序為BPF O \rightarrow BPF I \rightarrow BSF \rightarrow FTF

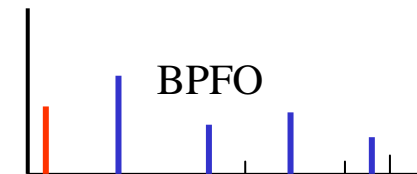
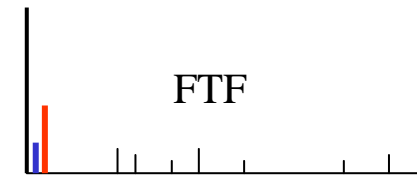


滾動軸承損壞的振動特徵

軸承四個元件損壞特徵可歸類如下：

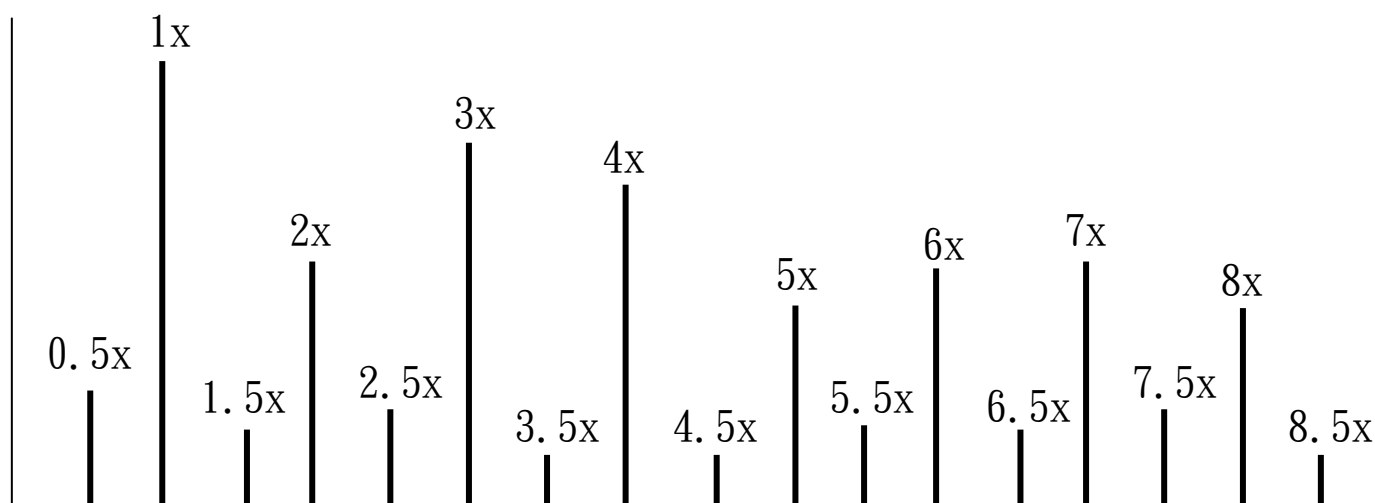
	主波頻率	Harmonics	Sidebands
FTF	最低	No	No
BSF	次低	No	Yes
BPFO	次高	Yes	No
BPFI	最高	Yes	Yes

有時軸承損壞時，其特徵並非百分之百與上表相同，須視軸承損壞嚴重程度與損壞點有無負載變化情況而定。



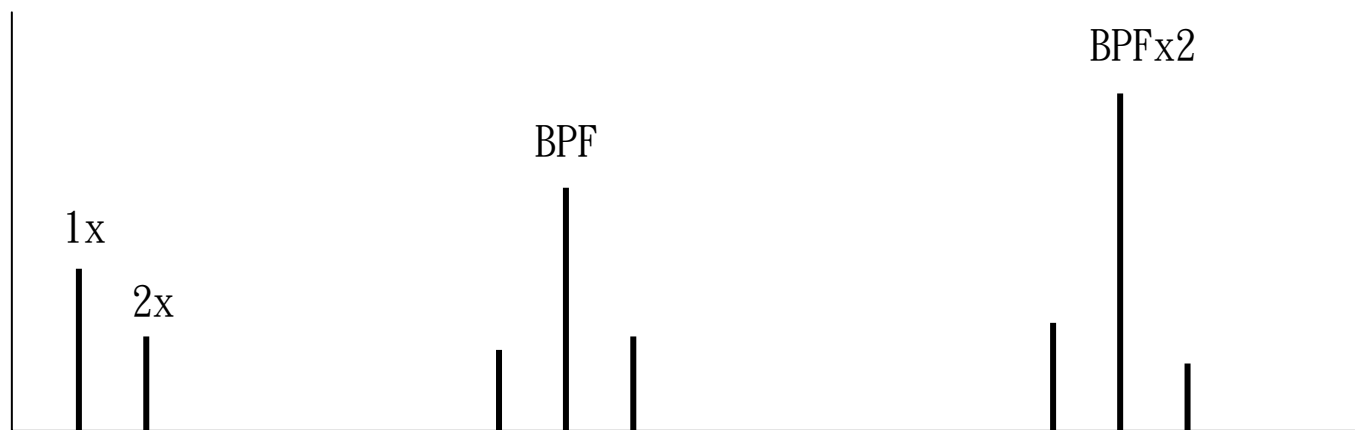
轉軸摩擦的振動特徵

- 當旋轉件與固定件磨擦時，其頻譜與鬆動相似
- 通常會激發轉速的整數分數的次簡諧振動頻率 (1/2, 1/3, 1/4.....)



葉片的振動特徵

- 葉片頻率(BPF) = 葉片數 \times 轉速，此為泵浦，風車和壓縮機的固有頻率
- 但若設計不當，擴散片磨損，管路陡彎，擾流阻礙或轉軸偏心，皆會引起高BPF



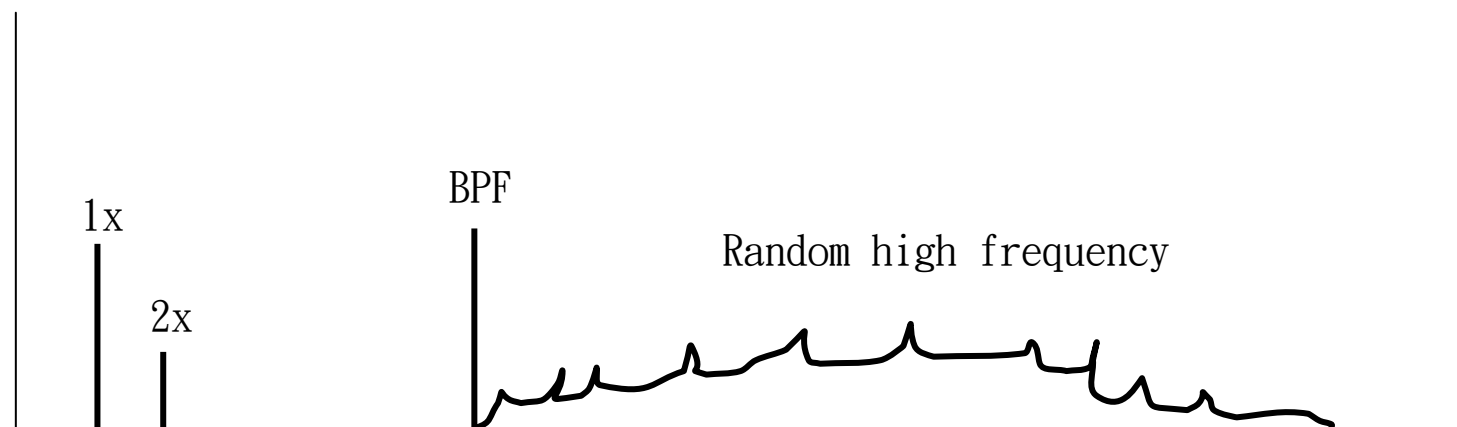
流體擾流的振動特徵

- 當空氣在進出風車，壓力或速度產生突然之變化時，會引起擾流現象。
- 擾流通常會產生隨機，低頻的振動，範圍約在 1~30 Hz 間。



孔蝕的振動特徵

- 當泵浦入口壓力不足時，易產生孔蝕（氣穴）現象
- 孔蝕通常會產生隨機，高頻且寬頻域的振動，會對泵浦內部機件造成腐蝕。



齒輪的振動特徵

- 齒輪嚙合頻率 (GMF) = 齒數 X 轉速
- GMF 為齒輪機構固有之頻率，其大小代表負荷之多寡，而非磨耗。



齒輪的振動特徵

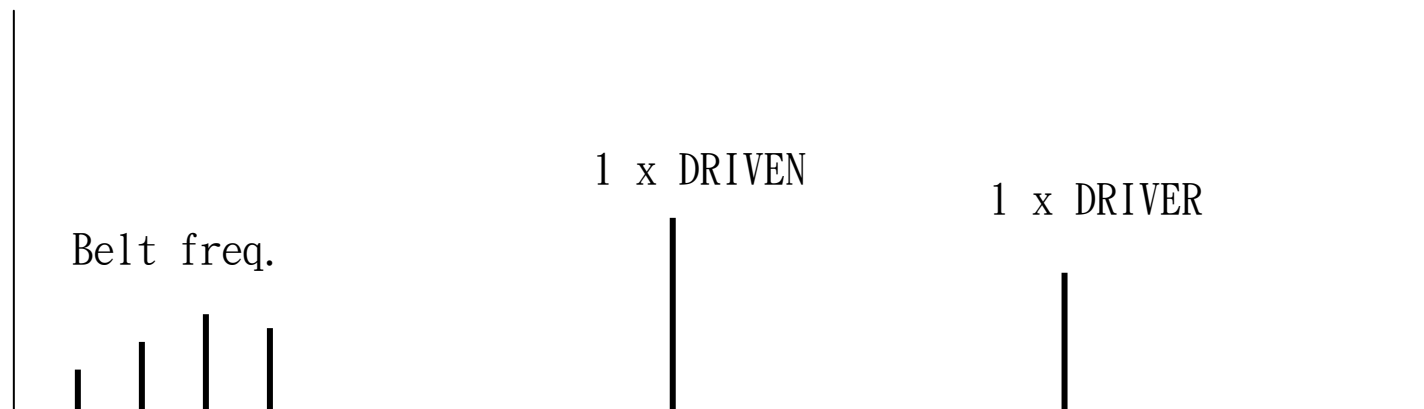
齒輪磨耗、偏心或兩軸不平行時的頻譜特徵為：

- 齒輪自然頻率會被激發出來 f_n
- GMF變大，並伴隨著磨耗齒輪轉速之旁波
- 磨耗增加，旁波亦會增多加大
- 偏心或兩軸不平行時，會有2倍GMF出現



皮帶及皮帶輪的振動特徵

- 皮帶頻率 = $3.14 \times \text{皮帶輪直徑} \times \text{轉速} / \text{皮帶長度}$
- 皮帶發生磨破、鬆動、或配合錯誤時，常會引發 1x、2x、3x、4x 的皮帶頻率



皮帶及皮帶輪的振動特徵

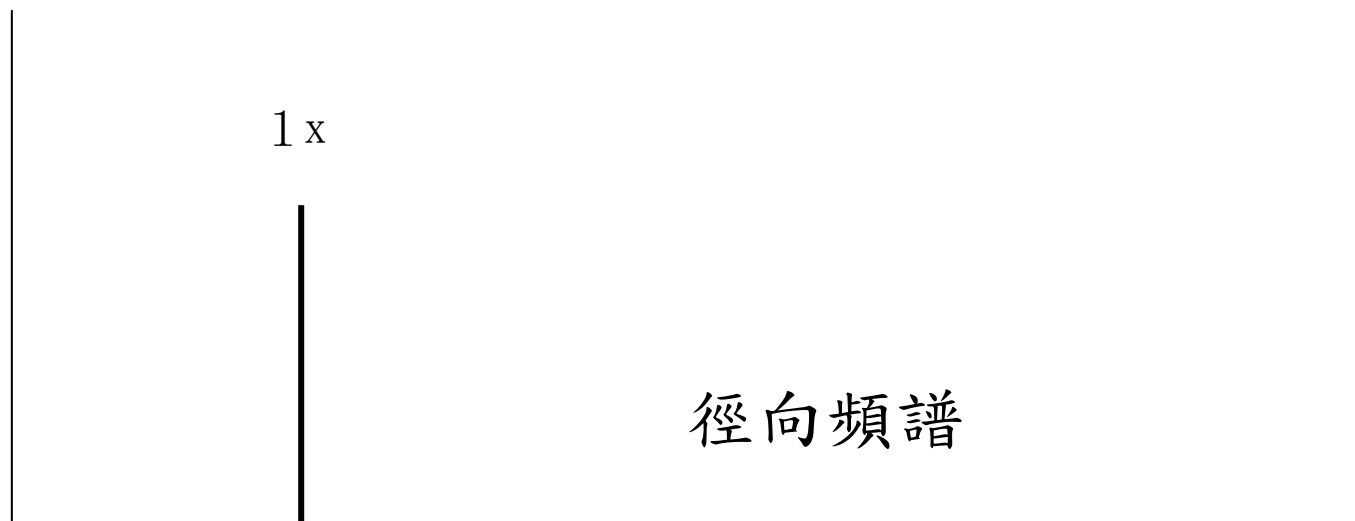
- 皮帶輪不對心時，會在 1x 轉速顯現高振動
- 軸向尤其明顯
- 被傳動件之轉速頻率會發現在傳動件頻譜上

1 x DRIVER OR DRIVEN

軸向頻譜

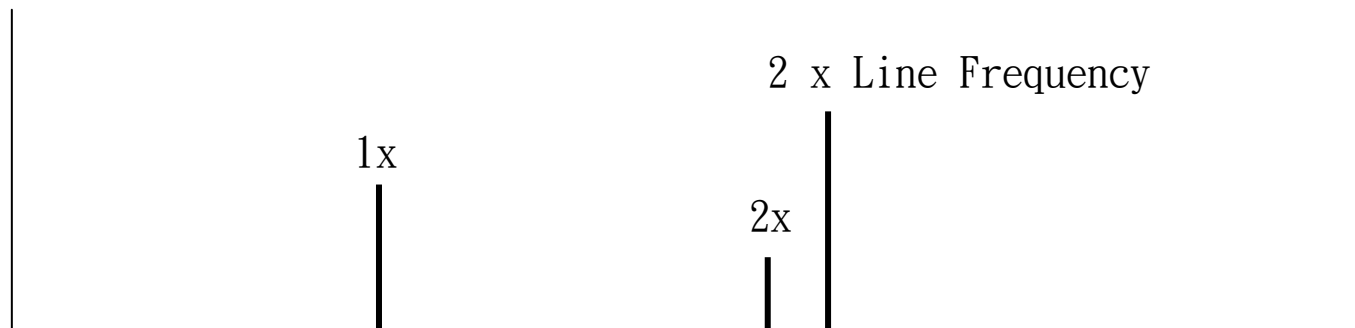
皮帶及皮帶輪的振動特徵

- 當皮帶輪有偏心問題時，其振動頻譜特徵和平衡不良問題一樣，振幅主要發生於徑向之一倍頻。



馬達定子偏心的振動特徵

- 定子偏心會產生氣隙不均而引起振動
- 氣隙不均會產生局部發熱而使馬達軸彎曲，故振動會隨操作時間而變大
- 會在2倍線頻率(120或100Hz)產生高振動



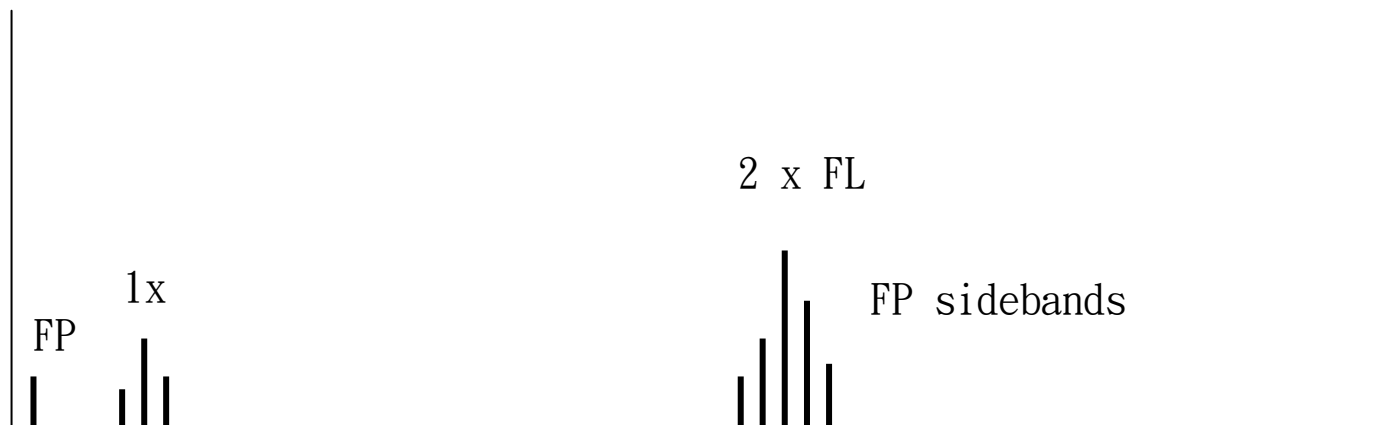
馬達定子異常的振動特徵

- 定子槽頻率 = 定子槽數 \times 轉速
- 定子槽產生異常時，會產生定子槽頻率高振動
- 定子槽頻率同時伴隨著馬達轉速之旁波



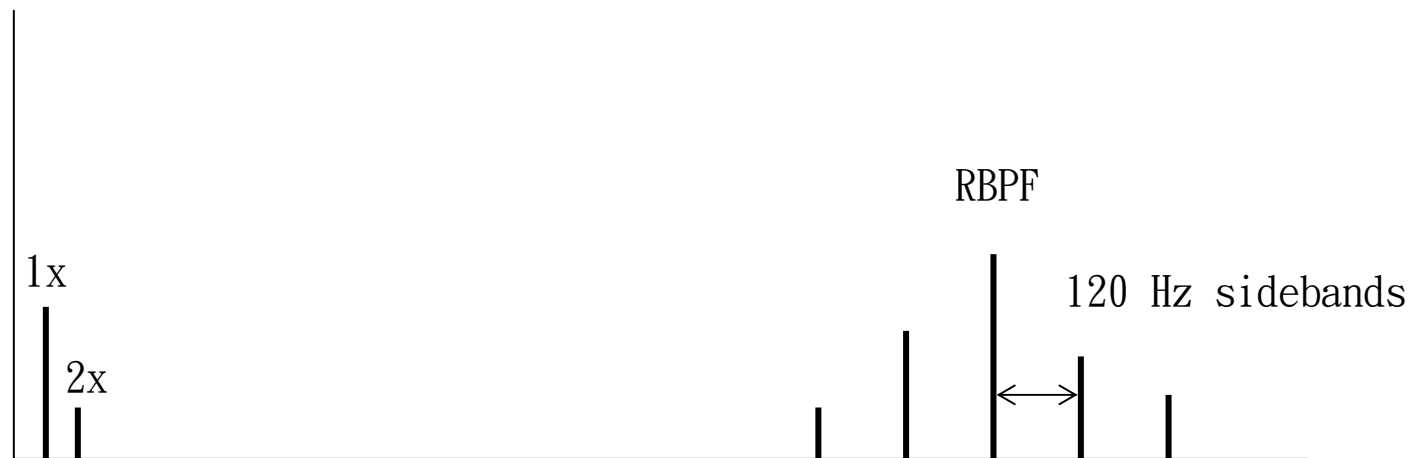
馬達轉子偏心的振動特徵

- 轉子偏心會產生2倍線頻率，並伴隨著極通頻率
($FP = P \times \text{遲滯頻率}$)
- FP會在低頻區出現 (約0.3~2.0 Hz)



馬達轉子棒鬆動的振動特徵

- 轉子棒通過頻率(RBPF)=轉子棒數*轉速
- 轉子棒鬆動時會產生 RBPF 及 $2 \times$ RBPF，並伴隨著 $2 \times$ FL(120或100Hz)之旁波



直流馬達異常的振動特徵

- 磁場繞組破損、不良的SCR、聯接器鬆動會產生6倍線頻(360或300Hz)之高振動

