

切削振動對加工精度之影響

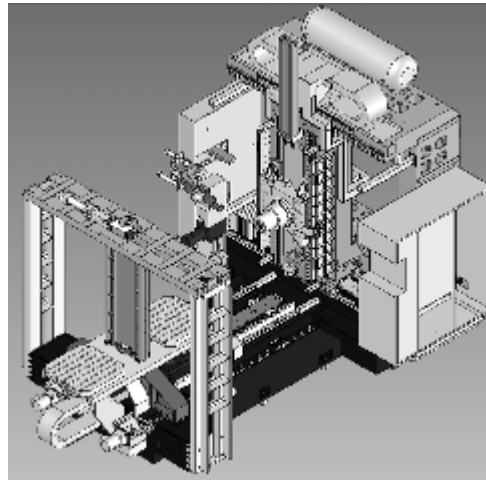
講師：陳紹賢博士

日期：98/6/29

Outlines

- 工具機結構
- 工具機與切削原理

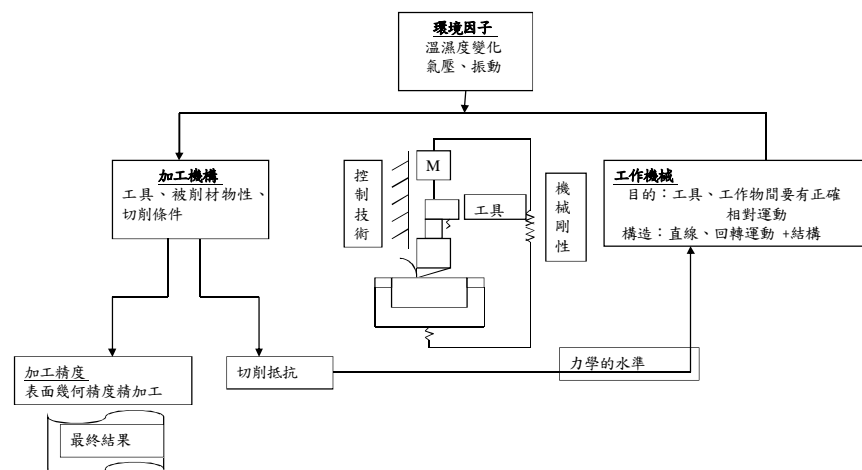
Machine Tool System



勤益科技大學機械系

3

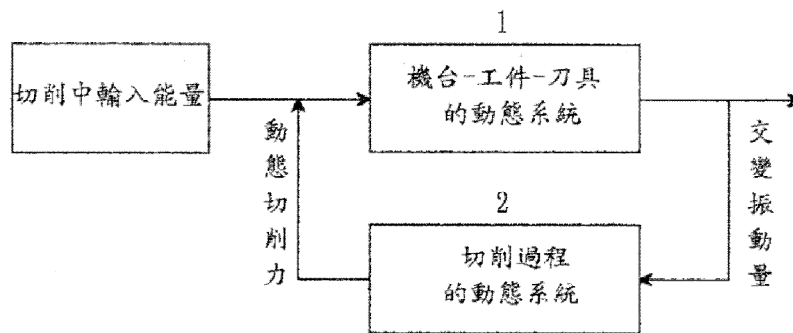
Machine Tool System



勤益科技大學機械系

4

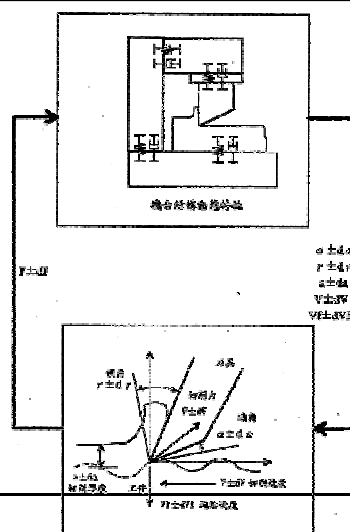
Machine Tool System



勤益科技大學機械系

5

Machine Tool System



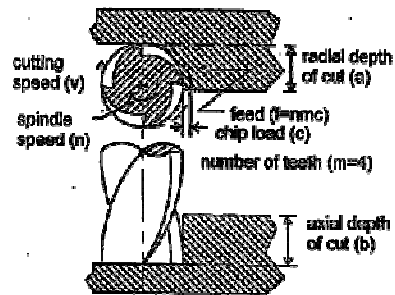
勤益科技大學機械系

6

MRR

$$MRR = b \cdot a \cdot f$$

b = axial depth of cut
a = radial depth of cut
f = feed or feed rate

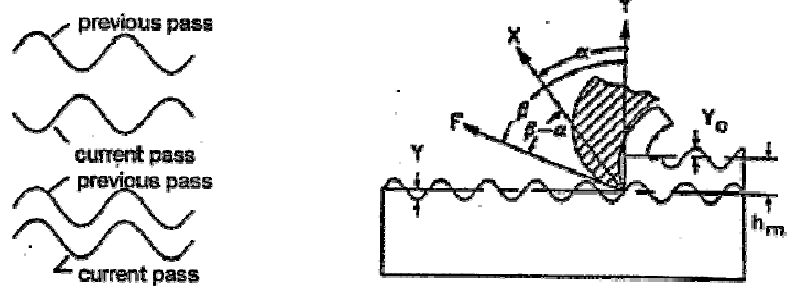


MRR

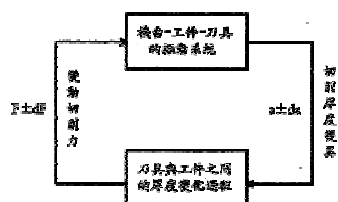
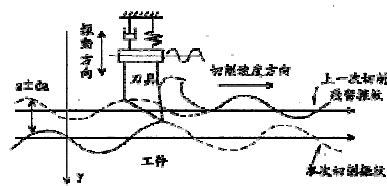
由以上對於顫振、材料移除率的定義可以推論得以下現象：

1. 增加軸向切深、徑向切深與進給率可提升材料移除率。
2. 進給率可以在不增加刀刀負載的情形下，由提高轉速來增加進給率。
3. 進給率的提高通常受限於顫振的發生
4. 增加軸向、徑向切深最終將導致顫振。
5. 顫振乃是因為剛性不足而產生。

Chatter



Chatter



Revolution and Vibration

$$\frac{f}{nm} = N + \frac{\epsilon}{2\pi} \text{ or } n = \frac{f}{m \left(N + \frac{\epsilon}{2\pi} \right)}$$

where

f = frequency of vibration

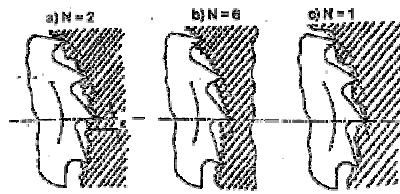
n = spindle speed

m = number of teeth

N = number of whole waves between teeth

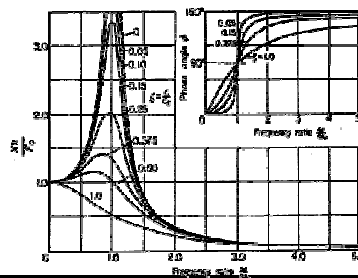
$\frac{\epsilon}{2\pi}$ = fraction of a wave

刀刀之間的波紋與相位 (ϵ) 示意圖:



Frequency and damping

若我們把結構體之 M 值和 M 值固定不變, 阻尼比僅任意改變, 則在激振等於共振頻率($\omega = \omega_n$)時, 阻尼比越大振幅就越小, 也就是說阻尼比越大其動剛性也就越大, 機器在切削時較不易引起振動。圖2之 F_0 代表施加於結構體之激振力, ζ 是結構體之阻尼比, 其定義是結構體之阻尼 C 與臨界阻尼(critical damping) C_c 之比值。鑄鐵因其備較大之阻尼比值, 因此極適合做為工具機結構材料, 鑄鐵之阻尼比為0.00085(100 Hz), 但尚有其他材料如花崗石和聚合樹脂混凝土材料之阻尼比, 都比鑄鐵來得高, 其值分別是0.0025(140 Hz)和0.0035。



Vibration results

在切削時，會造成異常振動之主要因素，可以分為三大類

- (1) 振動與切削刀具或條件之關係
- (2) 振動與工件或夾治具之關係
- (3) 振動與工具機之關係

Vibration and cutting condition

1. 刀具本身之剛性(形狀, 大小, 材質等)
2. 刀片本身之形狀(圓形, 方形, 菱形等)
3. 刀具之夾持與突出狀況
4. 刀片之切入角(K)
5. 負角刀片與刀尖R角大小
6. 刀具動平衡不良
7. 切削條件不當
 - a. 進給太快或太慢
 - b. 切削深度太大

Vibration and Tool

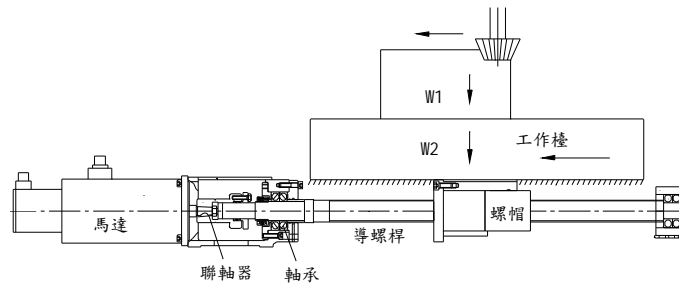
1. 工件本身之剛性
2. 夾治具本身之剛性
3. 工件之夾持狀況
4. 工件是否斷續切削
5. 工件之受力方向

Vibration and Machine Tool

1. 工具機結構之剛性
2. 工具機結構之阻尼特性
3. 工具機接合面之阻尼特性
4. 工具機齒輪箱異常振動
5. 工具機傳動系統異常振動
6. 主軸動平衡不良等

機械系統

- 進給機構

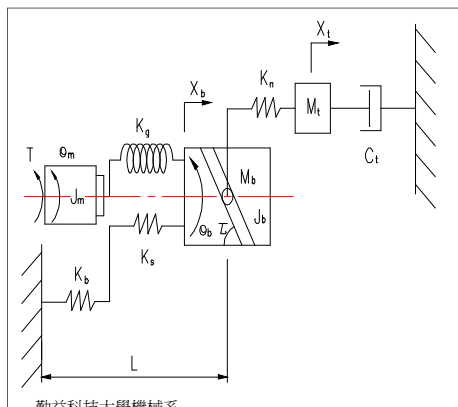


勤益科技大學機械系

17

機械系統

- 進給機構之模型：



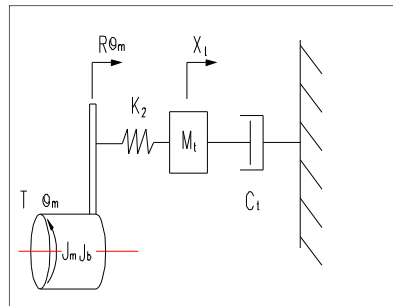
- K_s : 滾珠導螺桿軸向剛性(kgf/cm)
- K_b : 滾珠導螺桿支撐軸承剛性(kgf/cm)
- K_g : 滾珠導螺桿扭轉剛性(kgf-cm/rad)
- K_n : 滾珠導螺桿螺帽剛性(kgf/cm)
- K_c : 聯軸器的扭轉剛性(kgf-cm/rad)

勤益科技大學機械系

18

機械系統

- 簡化模型：



$$\frac{1}{K_2} = \frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_g} + \frac{1}{K_n} + \frac{1}{K_c}$$

一般使用於工具機之滾珠導螺桿質量Mb只有被驅動部質量之數十分之一而已，因此將其假設為0，由於滾珠導螺桿之扭轉剛性Kg很大，因此令 $\theta_b = \theta_m$

機械系統

- 簡化模型轉移函數：

$$[M_a] \ddot{X}_a + [C_a] \dot{X}_a + [K_a] X_a = [F_a]$$

$$[M_a] = \begin{bmatrix} M_t & 0 \\ 0 & J_b + J_m \end{bmatrix}, [X_a] = [X_t \quad q_m]^T, [C_a] = \begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, [F_a] = [0 \quad T]^T$$

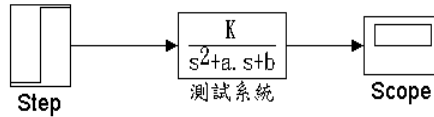
$$[K_a] = \begin{bmatrix} K_2 & -RK_2 \\ -RK_2 & R^2 K_2 \end{bmatrix}, \frac{1}{K_2} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_n}$$

$$\begin{bmatrix} M_t S^2 + C_1 S + K_2 & -RK_2 \\ -RK_2 & (J_b + J_m) S^2 + R^2 K_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_t \\ q_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ T \end{bmatrix}$$

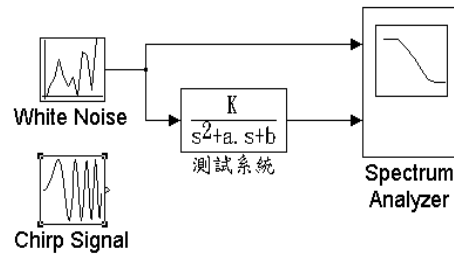
$$\frac{X_t}{T} = \frac{RK_2}{M_t (J_b + J_m) S^4 + C_1 (J_b + J_m) S^3 + [M_t R^2 K_2 + K_2 (J_b + J_m)] S^2 + C_1 R^2 K_2 S}$$

響應測試信號

- 時域響應：

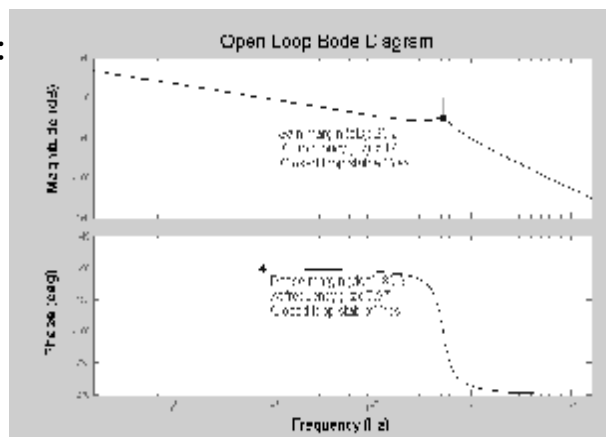


- 頻域響應：



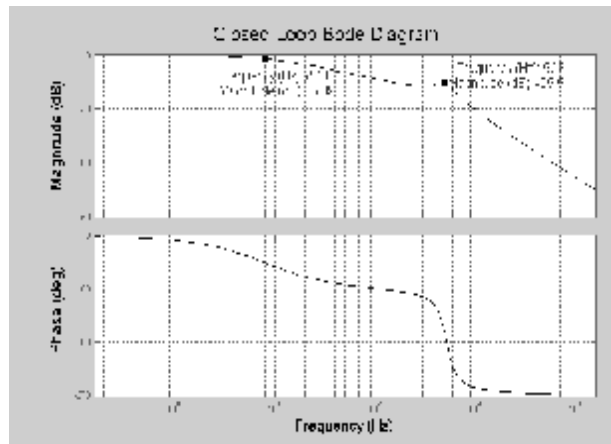
頻域響應

- 開迴路波德圖：
 - Gain Margin
 - Phase Margin



頻域響應

- 閉迴路波德圖：
 - 頻寬
 - 振動頻率



勤益科技大學機械系

23

自然頻率與阻尼

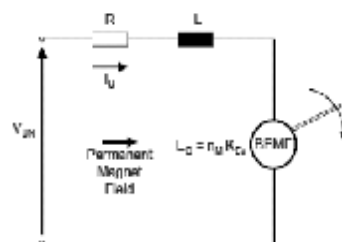
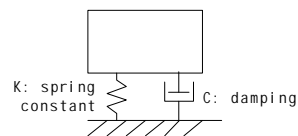
- 標準二階系統：

$$H(S) = \frac{W_n^2}{S^2 + 2xW_n S + W_n^2}$$

W_n : 自然頻率

x : 阻尼

$$S = -xW_n \pm jW_n \sqrt{1-x^2}$$

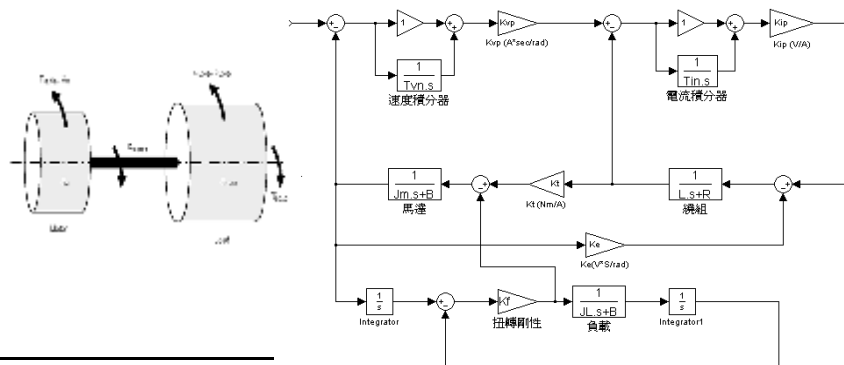


勤益科技大學機械系

24

負載慣量

- 彈性聯結：

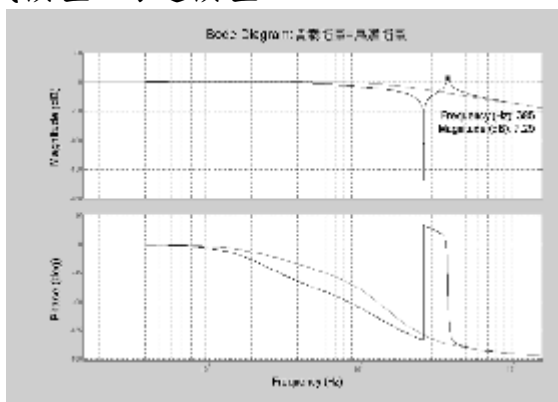


勤益科技大學機械系

25

負載慣量

- 負載慣量=馬達慣量

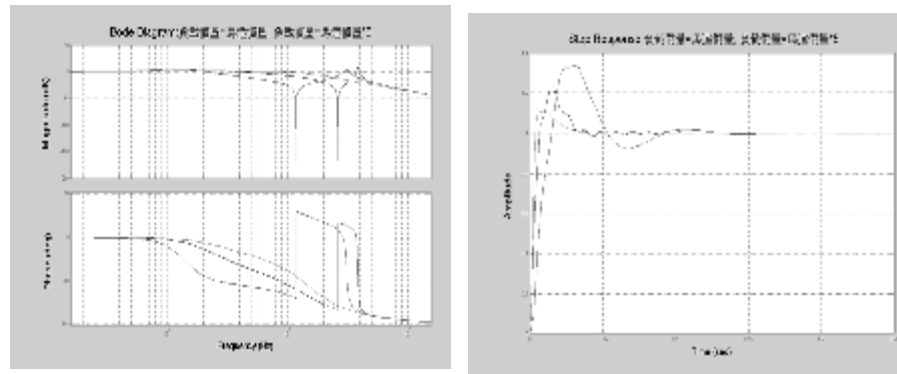


勤益科技大學機械系

26

負載慣量

- 負載慣量=馬達慣量 * 5

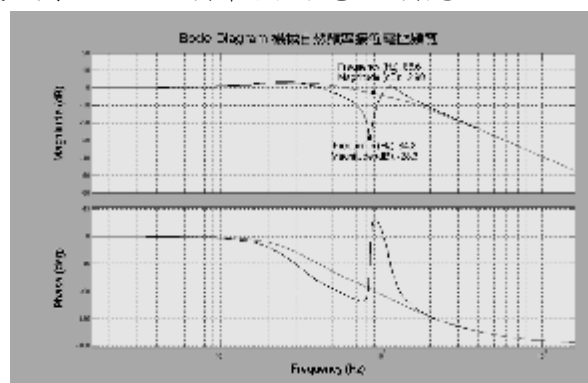


勤益科技大學機械系

27

機械系統自然頻率

- 機械系統自然頻率接近電控頻寬

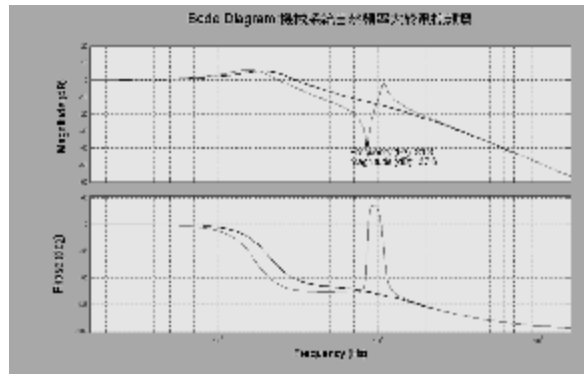


勤益科技大學機械系

28

機械系統自然頻率

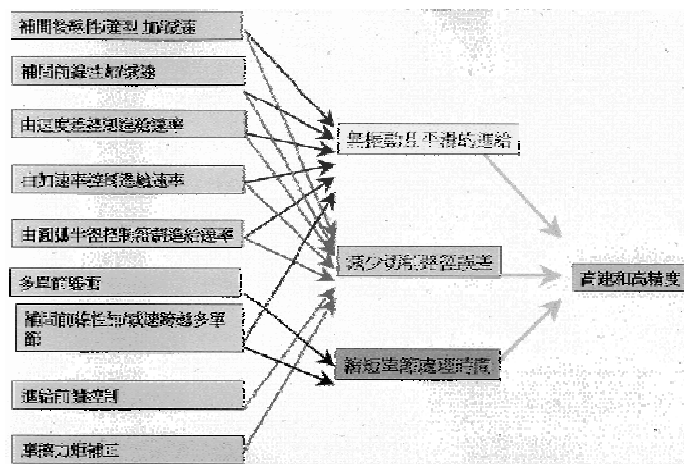
- 機械系統自然頻率大於電控頻寬



勤益科技大學機械系

29

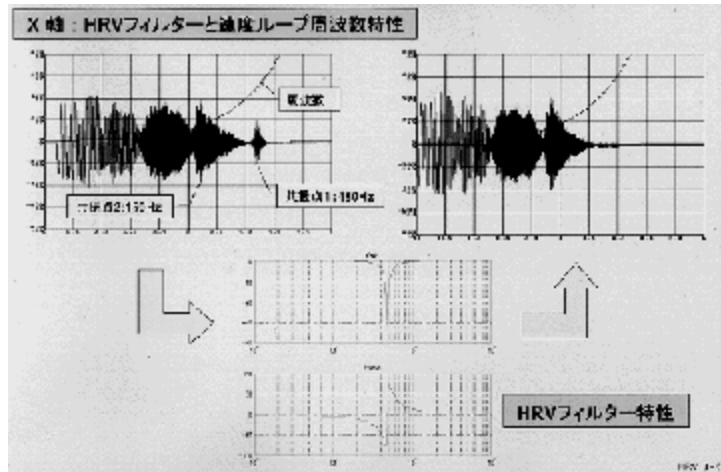
HRV System



勤益科技大學機械系

30

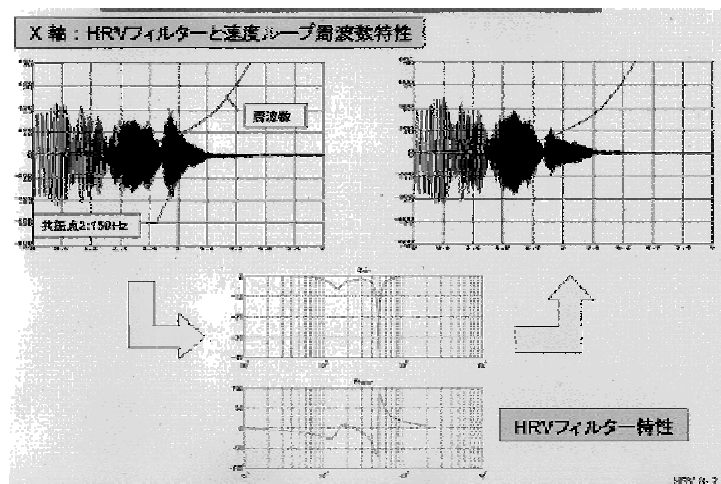
HRV System



勤益科技大学機械系

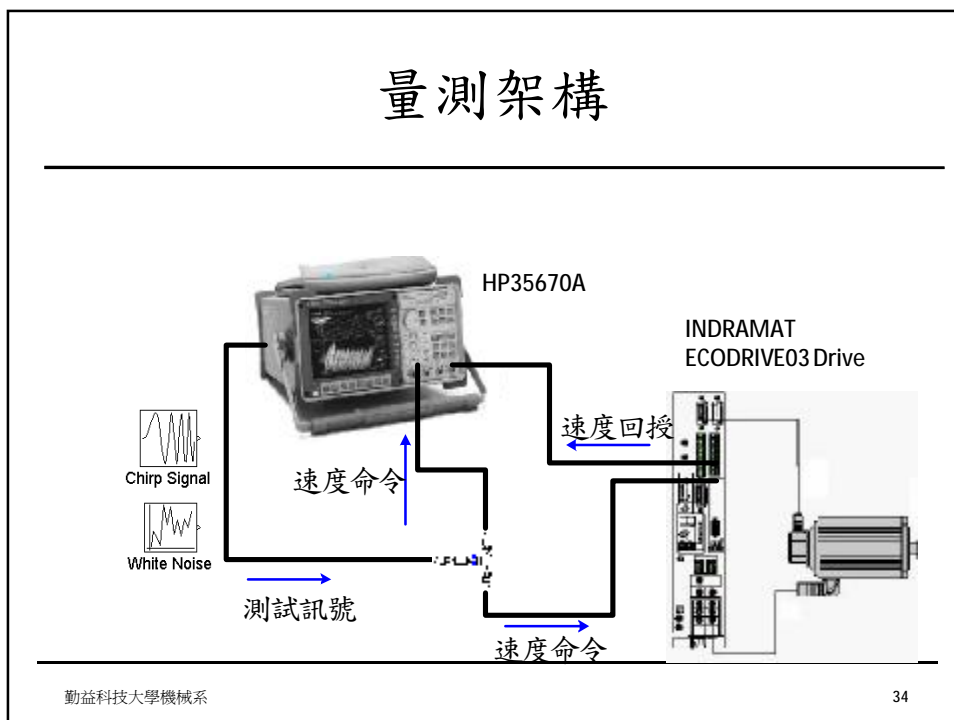
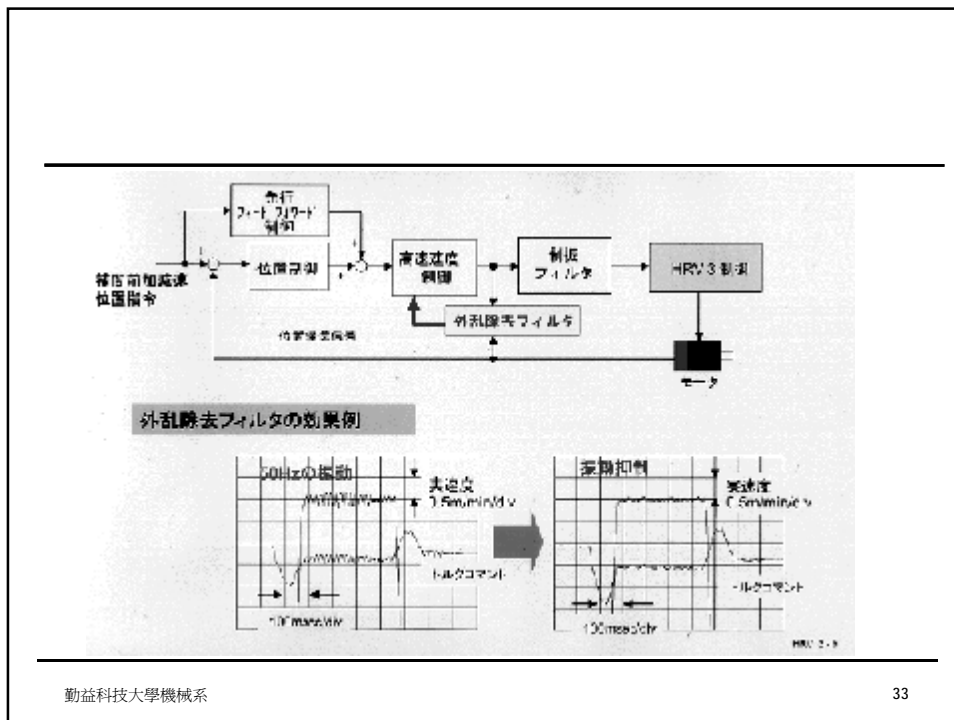
31

HRV System

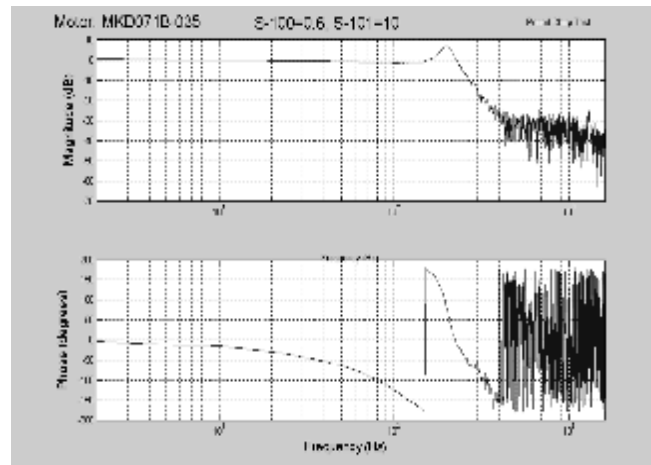


勤益科技大学機械系

32



量測調整實例



勤益科技大學機械系

35

高頻振動抑制 (HRV Notch Filter)

勤益科技大學機械系

36

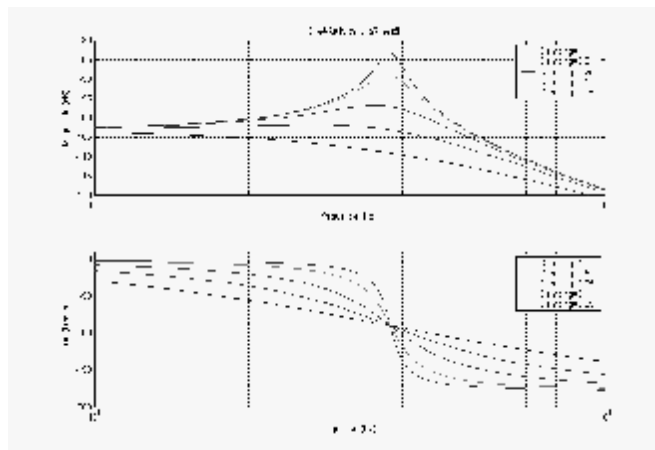
數位帶斥濾波器 (Notch-filter)

- (1)一般來說，帶斥濾波器(Notch-filter)的主要功用是去抑制系統模型中的單一特定共振點，衰減共振點的響應，其在一個很窄的頻寬範圍內會衰減，而在頻寬範圍外其輸出入的響應幾乎相同，其二階轉移函數形式如下：
- 包含單位增益、二個零點以及二個極點分佈，二階帶斥濾波器之參數 Q 值越大表示在中心頻率附近變化的越厲害，定義為 $Q = \frac{f_0}{\Delta f_{-3dB}}$ ，其中 f_0 和 Δf_{-3dB} 分別代表低和高三分貝 (-3 dB) 頻率， f_0 表中心頻率。

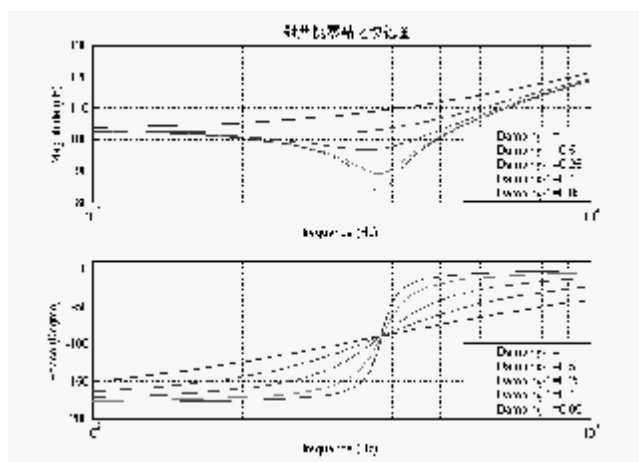
數位帶斥濾波器 (Notch-filter)

- (2)基本因式~共軛極點~之波德圖如下所示：
在 ω_0 附近，大小值隨著阻尼值 ζ 而有很大的變化，一般來說，阻尼值越小，波德圖的峰值越大，波德圖的變化也越劇烈。
- (3)帶斥濾波器(Notch-filter)之波德圖如下所示：
是由基本因式~共軛極點~及~共軛零點~之波德圖線性組合而成。

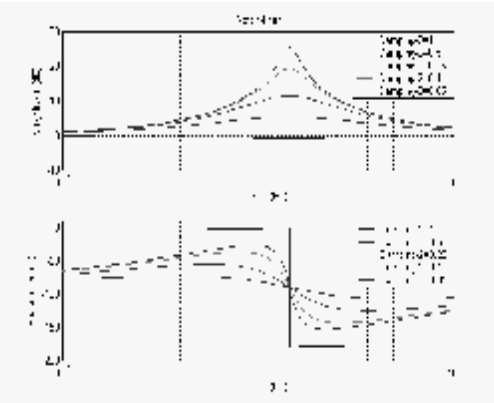
數位帶斥濾波器 (Notch-filter)



數位帶斥濾波器 (Notch-filter)



Example-1



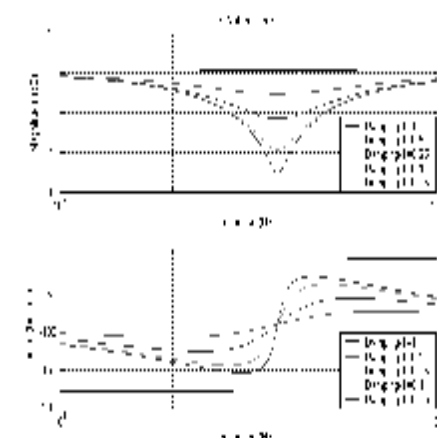
情況一：

1. 阻尼值固定為0.92，阻尼值分別選擇為0.05、0.1、0.25、0.5、1來作頻譜響應比較
2. 當阻尼值越來越大時，在中心頻率=380Hz處的頻譜響應大小遞增的程度也會越來越小，而中心頻率=380Hz附近頻帶之頻譜大小遞增的程度也越來越小。

勤益科技大學機械系

41

Example-2

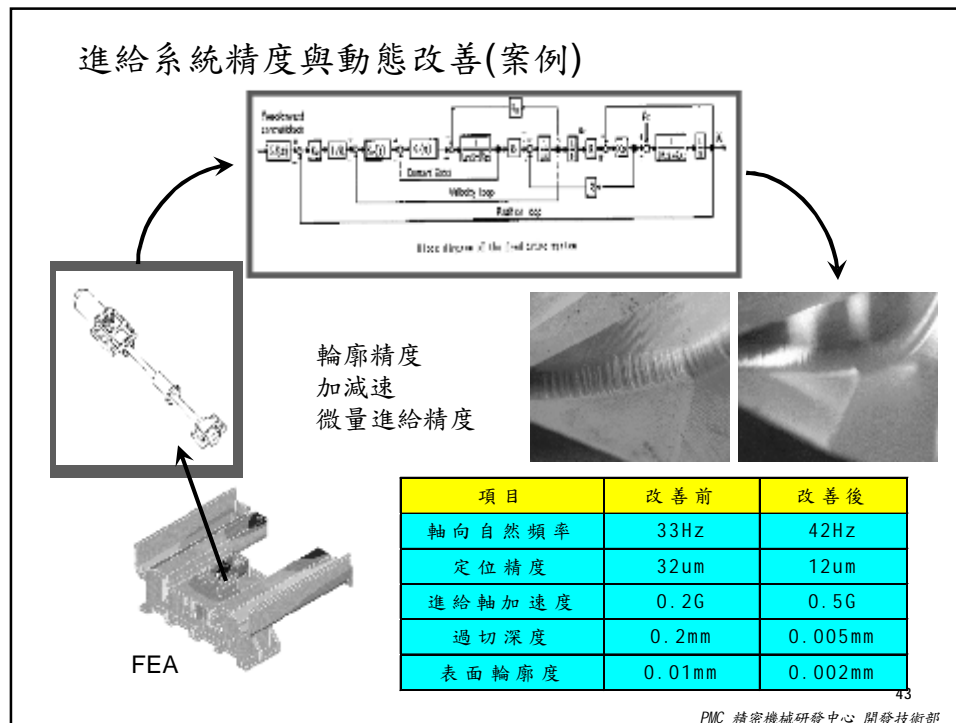


情況二：

1. 中心頻率選擇為380Hz，阻尼值固定為0.92，阻尼值分別選擇為0.05、0.1、0.25、0.5、1來作頻譜響應比較，2.
2. 當阻尼值越來越大時，在中心頻率=380Hz處的頻譜響應大小衰減的程度也會越來越小，而中心頻率=380Hz附近頻帶之頻譜大小衰減的程度也越來越小。

勤益科技大學機械系

42



結論

- 未切削時將機械結構震動降低與抑制。
- 未切削時在進給系統方面可利用HRV進行高頻震動抑制。
- 切削時改變切削參數避免共振的產生。
- 如何使用正確濾波方式來降低震動之產生。