

XỬ LÝ BÀI TOÁN MẤT CÂN BẰNG ĐỘNG TRONG CÁC HỆ TRUYỀN ĐỘNG QUAY TRÊN CƠ SỞ PHÂN TÍCH RUNG ĐỘNG



1. Tổng quan
2. Nhận biết mất cân bằng qua phân tích rung động
3. Khắc phục hiện tượng mất cân bằng

Sau bài học này, người học có thể:

1. Hiểu rõ các dạng mất cân bằng và nguyên nhân gây mất cân bằng trong hệ truyền động quay.
2. Phân tích tín hiệu rung động để phát hiện mất cân bằng.
3. Nắm vững và có thể thực hiện một số biện pháp khắc phục hiện tượng mất cân bằng.

Tại sao chi tiết quay cần được cân bằng?

Kỹ thuật

- Cân bằng chi tiết quay làm **giảm tối thiểu rung động** sinh ra do lực ly tâm.
→ Chi tiết làm việc ổn định.
- **Giảm lực tác động** vào ổ bi, ổ trượt,...
-

Kinh tế

- Kéo dài tuổi thọ thiết bị, tiết kiệm điện năng tiêu thụ do giảm hao phí lực cản.
- **Ngăn ngừa các sự cố hư hỏng** gây mất an toàn và thiệt hại hàng tỷ đồng.
- Chi phí thực hiện để cân bằng thấp nhưng **mang lại giá trị bảo trì phòng ngừa vượt trội**.

→ **Cân bằng chi tiết quay đóng vai trò vô cùng quan trọng**

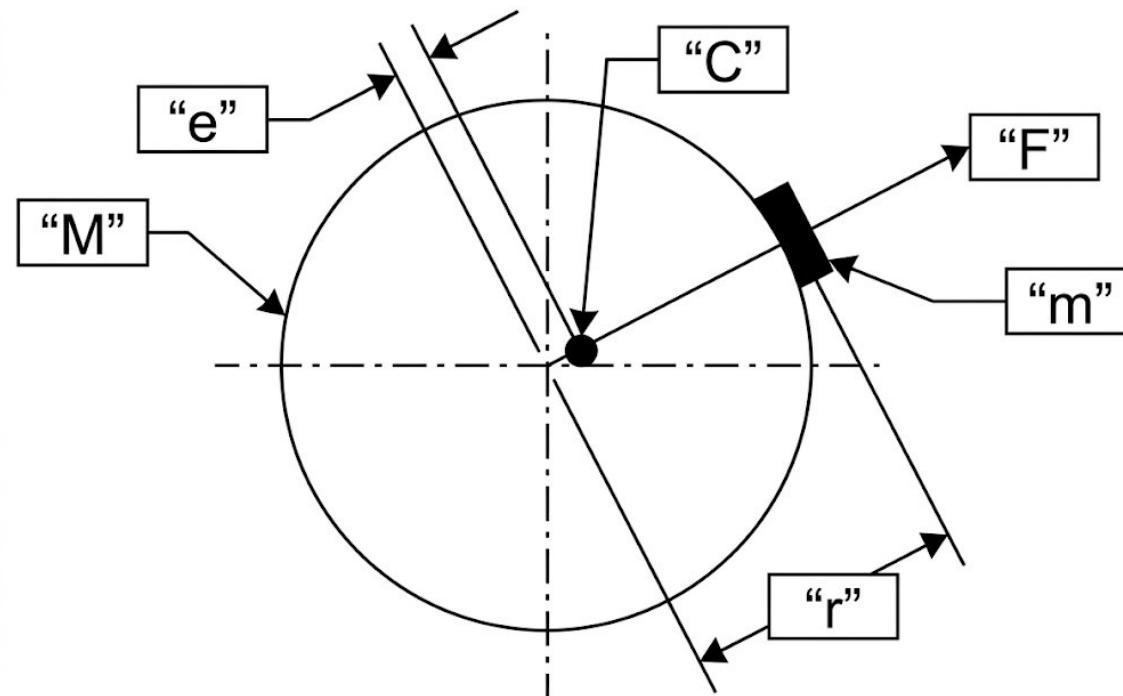
Nguyên nhân gây ra hiện tượng mất cân bằng

- Phân bố vật liệu không đều trong chi tiết.
- Biến dạng trong quá trình lắp đặt.
- Biến dạng do nhiệt độ.
- Chi tiết bị mài mòn hoặc bị bám vật liệu không đều trong quá trình làm việc.
-

1. TỔNG QUAN

Lực ly tâm sinh ra do mất cân bằng khối lượng

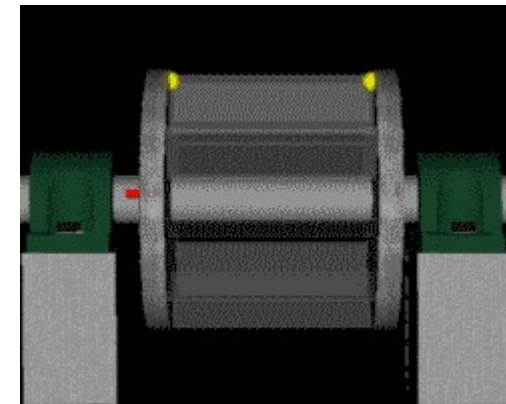
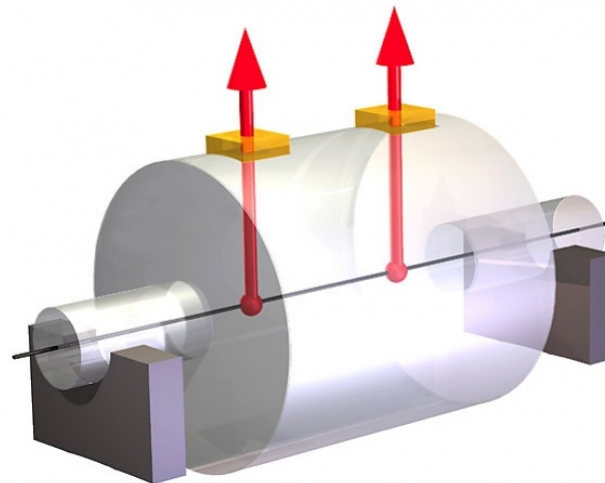
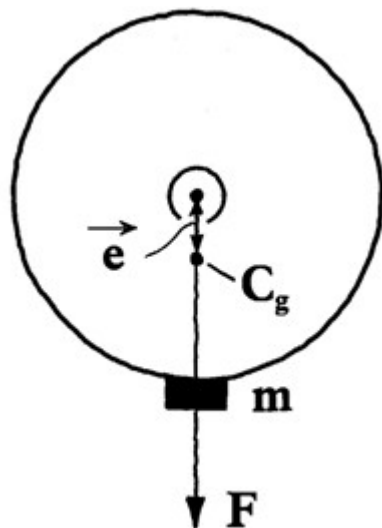
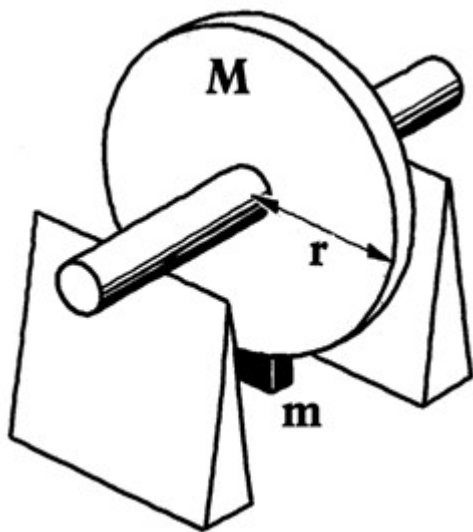
- m : khối lượng gây ra mất cân bằng
- M : khối lượng rotor
- C : vị trí trọng tâm
- F : Lực ly tâm sinh ra do mất cân bằng
- e : khoảng dịch chuyển của trọng tâm rotor
- r : khoảng cách từ tâm quay tới khối lượng mất cân bằng



1. TỔNG QUAN

Các dạng máy cân bằng

- Máy cân bằng tĩnh (máy cân bằng một mặt phẳng)

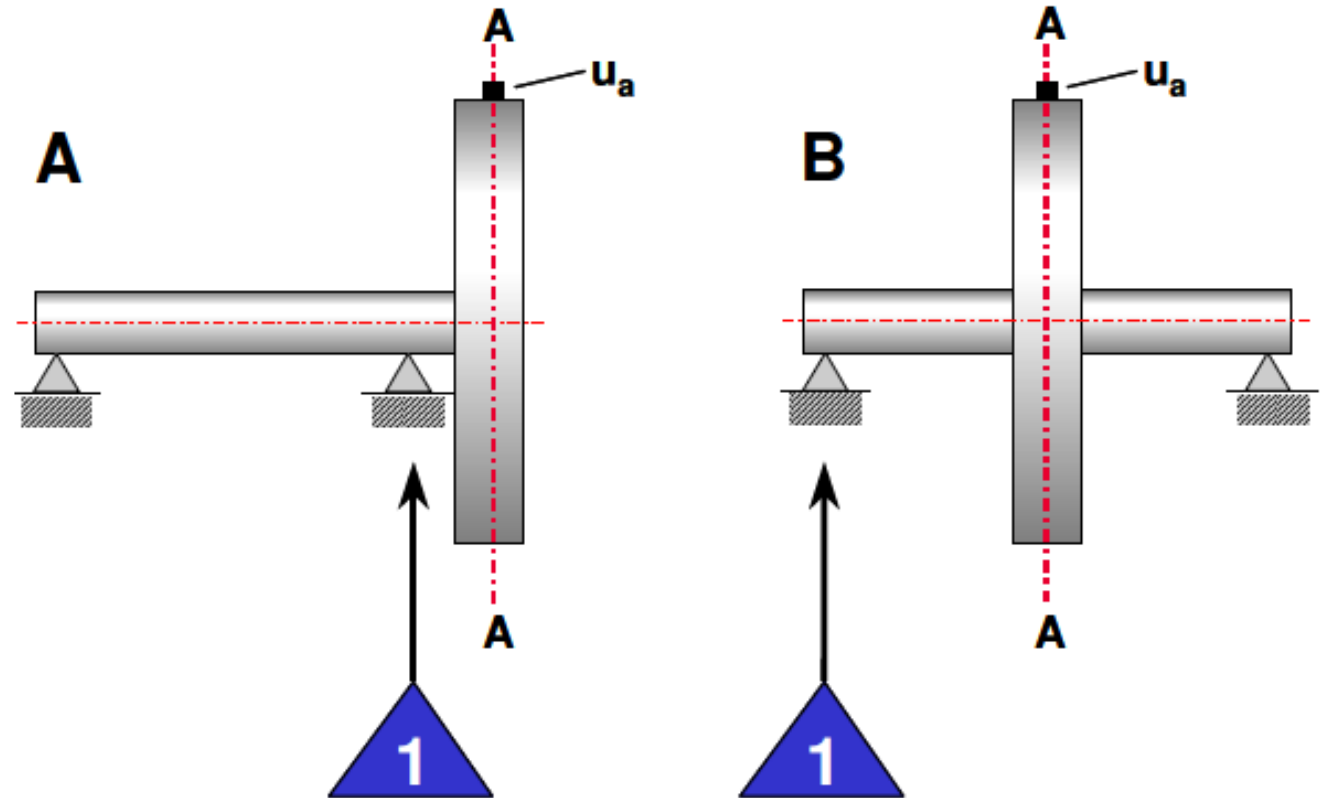


- M : khối lượng rotor
- r : bán kính tại vị trí máy cân bằng
- e : lượng máy cân bằng đơn vị
- m : khối lượng máy cân bằng tại bán kính r
- F : Lực ly tâm do khối lượng máy cân bằng m gây ra
- C_g : Trọng tâm của rotor (Center of Gravity)

1. TỔNG QUAN

Các dạng máy cân bằng

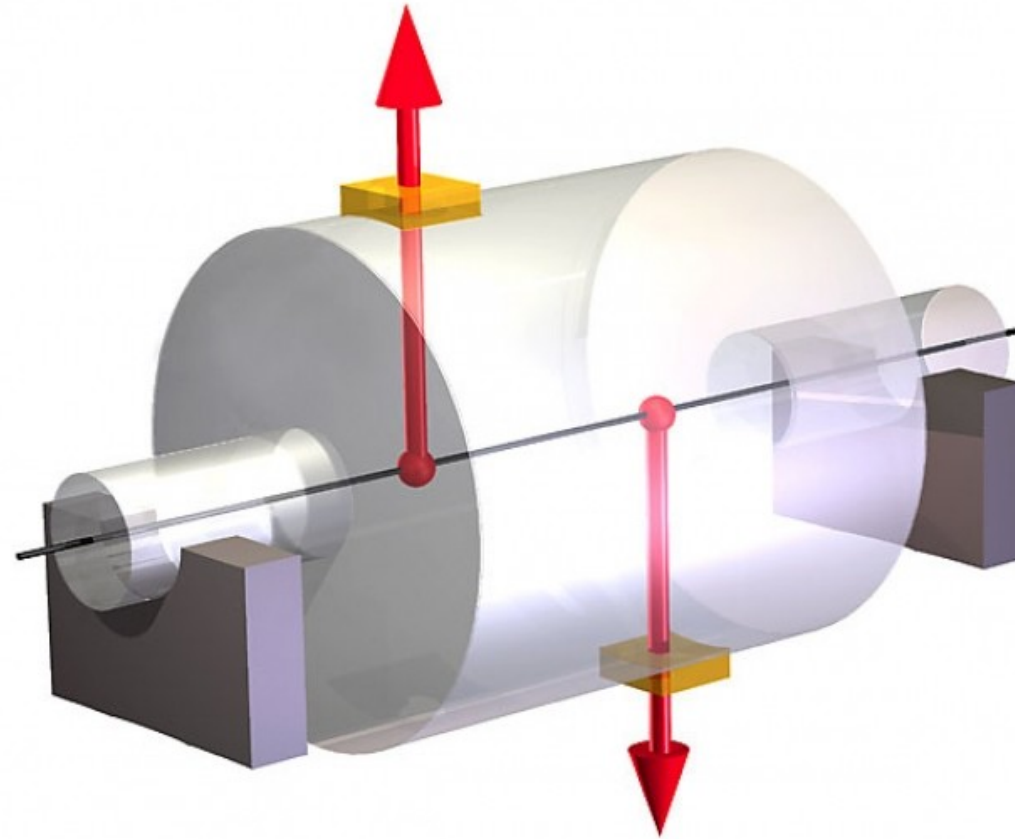
- Máy cân bằng tĩnh (máy cân bằng một mặt phẳng)



1. TỔNG QUAN

Các dạng mất cân bằng

- Mất cân bằng mô men

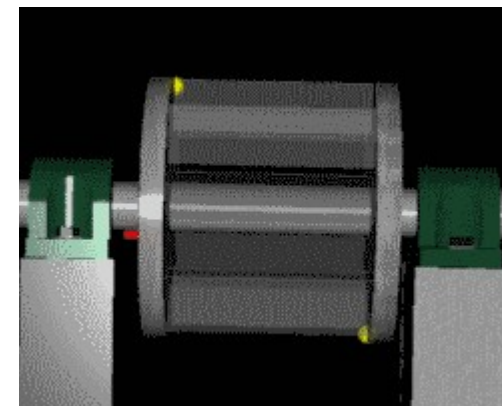
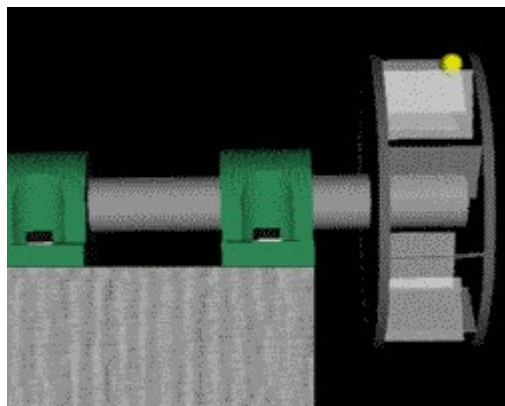
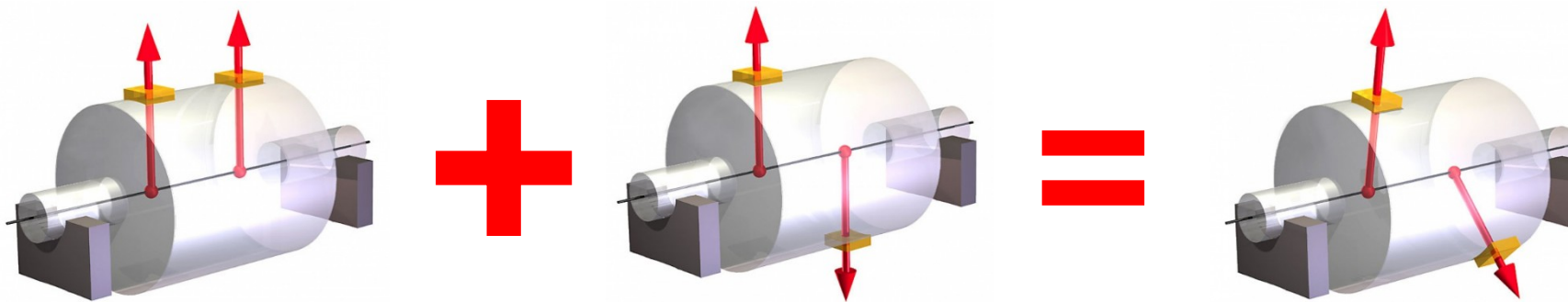


1. TỔNG QUAN

Các dạng mất cân bằng

- Mất cân bằng động

Là sự kết hợp cả 2 dạng mất cân bằng tĩnh và mất cân bằng mô men.



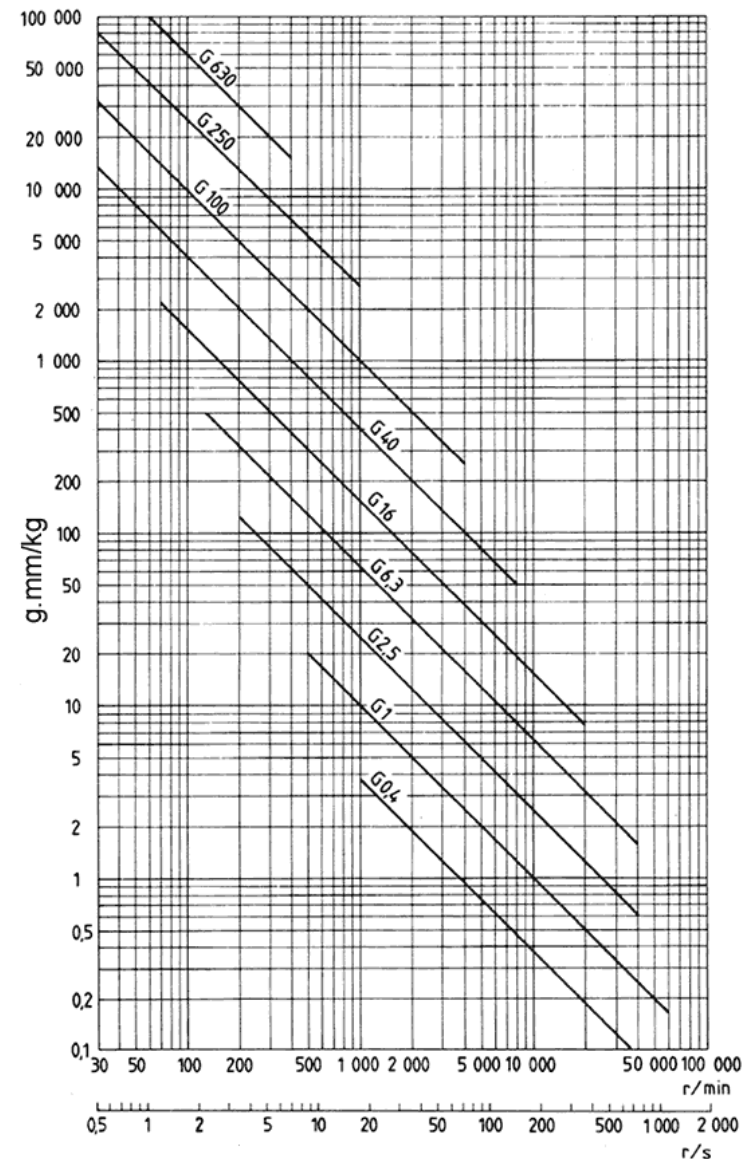
1. TỔNG QUAN

Đơn vị đo lượng mất cân bằng

- Đơn vị đo thường dùng: g.mm (hệ mét), in.oz (hệ inch)
- Tiêu chuẩn áp dụng: **ISO-1940**, quy định về lượng mất cân bằng cho phép đối với chi tiết quay tính theo g.mm/kg.

$$U_{res} = \frac{9549 \times G}{n}$$

- U_{res} : Lượng mất cân bằng cho phép (g.mm/kg)
- G : cấp chính xác của cân bằng
- n : tốc độ làm việc thực tế của rotor (v/ph)



1. TỔNG QUAN

Balance quality grades for various groups of representative rigid rotors (From ISO 1940/1)

Machinery types: General examples	Balance quality grade G	Magnitude $e_{\text{per}} \cdot \Omega$ mm/s
Crankshaft drives for large slow marine diesel engines (piston speed below 9 m/s), inherently unbalanced	G 4000	4 000
Crankshaft drives for large slow marine diesel engines (piston speed below 9 m/s), inherently balanced	G 1600	1 600
Crankshaft drives, inherently unbalanced, elastically mounted	G 630	630
Crankshaft drives, inherently unbalanced, rigidly mounted	G 250	250
Complete reciprocating engines for cars, trucks and locomotives	G 100	100
Cars: wheels, wheel rims, wheel sets, drive shafts Crankshaft drives, inherently balanced, elastically mounted	G 40	40
Agricultural machinery Crankshaft drives, inherently balanced, rigidly mounted Crushing machines Drive shafts (cardan shafts, propeller shafts)	G 16	16

1. TỔNG QUAN

Aircraft gas turbines Centrifuges (separators, decanters) Electric motors and generators (of at least 80 mm shaft height), of maximum rated speeds up to 950 r/min Electric motors of shaft heights smaller than 80 mm Fans Gears Machinery, general Machine-tools Paper machines Process plant machines Pumps Turbo-chargers Water turbines	G 6,3	6,3
Compressors Computer drives Electric motors and generators (of at least 80 mm shaft height), of maximum rated speeds above 950 r/min Gas turbines and steam turbines Machine-tool drives Textile machines	G 2,5	2,5

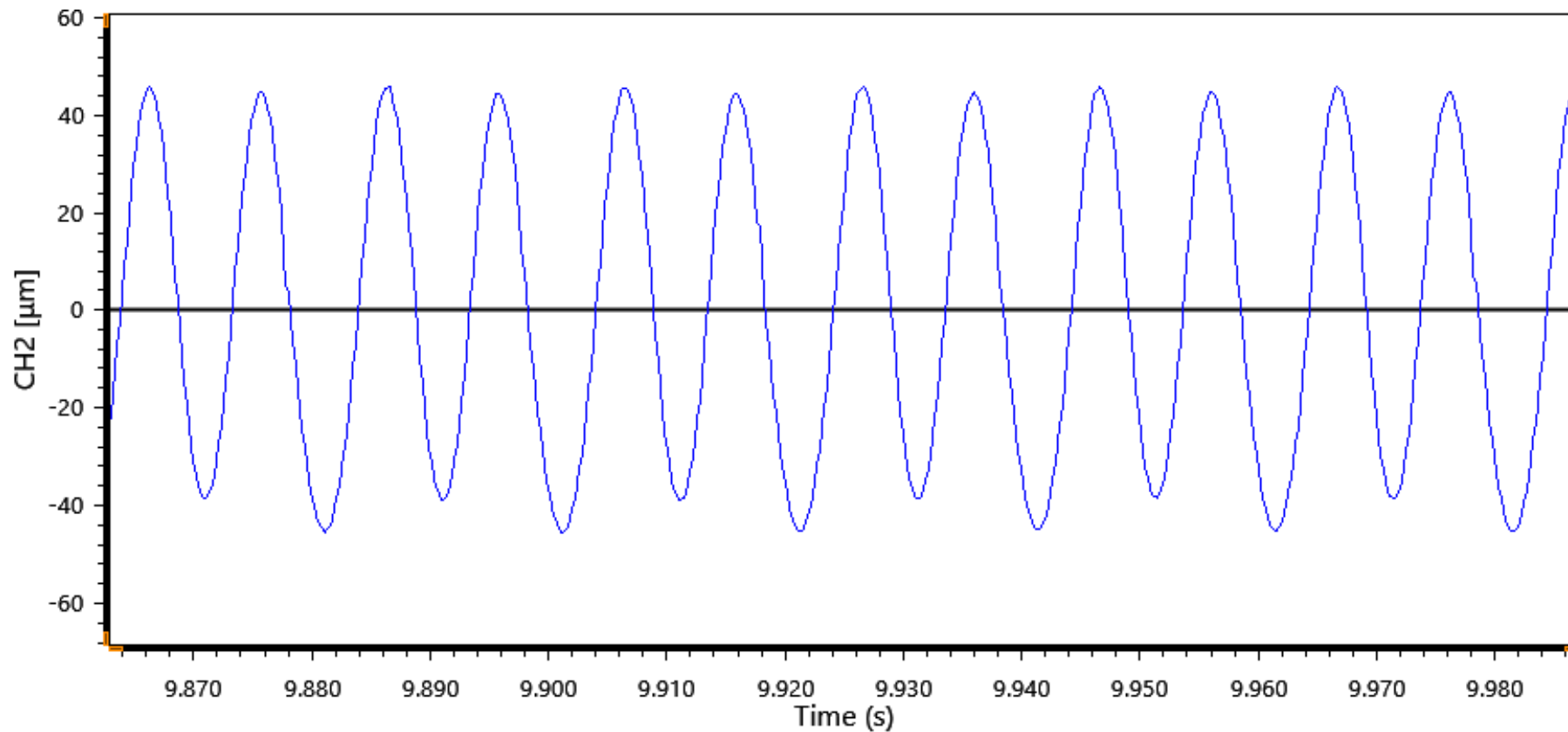
1. TỔNG QUAN

Audio and video drives Grinding machine drives	G 1	1
Gyroscopes Spindles and drives of high-precision systems	G 0,4	0,4
NOTE 1 Typically completely assembled rotors are classified here. Depending on the particular application, the next higher or lower grade may be used instead. For components, see Clause 9. NOTE 2 All items are rotating if not otherwise mentioned (reciprocating) or self-evident (e.g. crankshaft drives). NOTE 3 For limitations due to set-up conditions (balancing machine, tooling), see Notes 4 and 5 in 5.2. NOTE 4 For some additional information on the chosen balance quality grade, see Figure 2. It contains generally used areas (service speed and balance quality grade G), based on common experience. NOTE 5 Crankshaft drives may include crankshaft, flywheel, clutch, vibration damper, rotating portion of connecting rod. Inherently unbalanced crankshaft drives theoretically cannot be balanced; inherently balanced crankshaft drives theoretically can be balanced. NOTE 6 For some machines, specific International Standards stating balance tolerances may exist (see Bibliography).		

2. NHẬN BIẾT MẮT CÂN BẰNG QUA PHÂN TÍCH RUNG ĐỘNG

- Tín hiệu trên miền thời gian

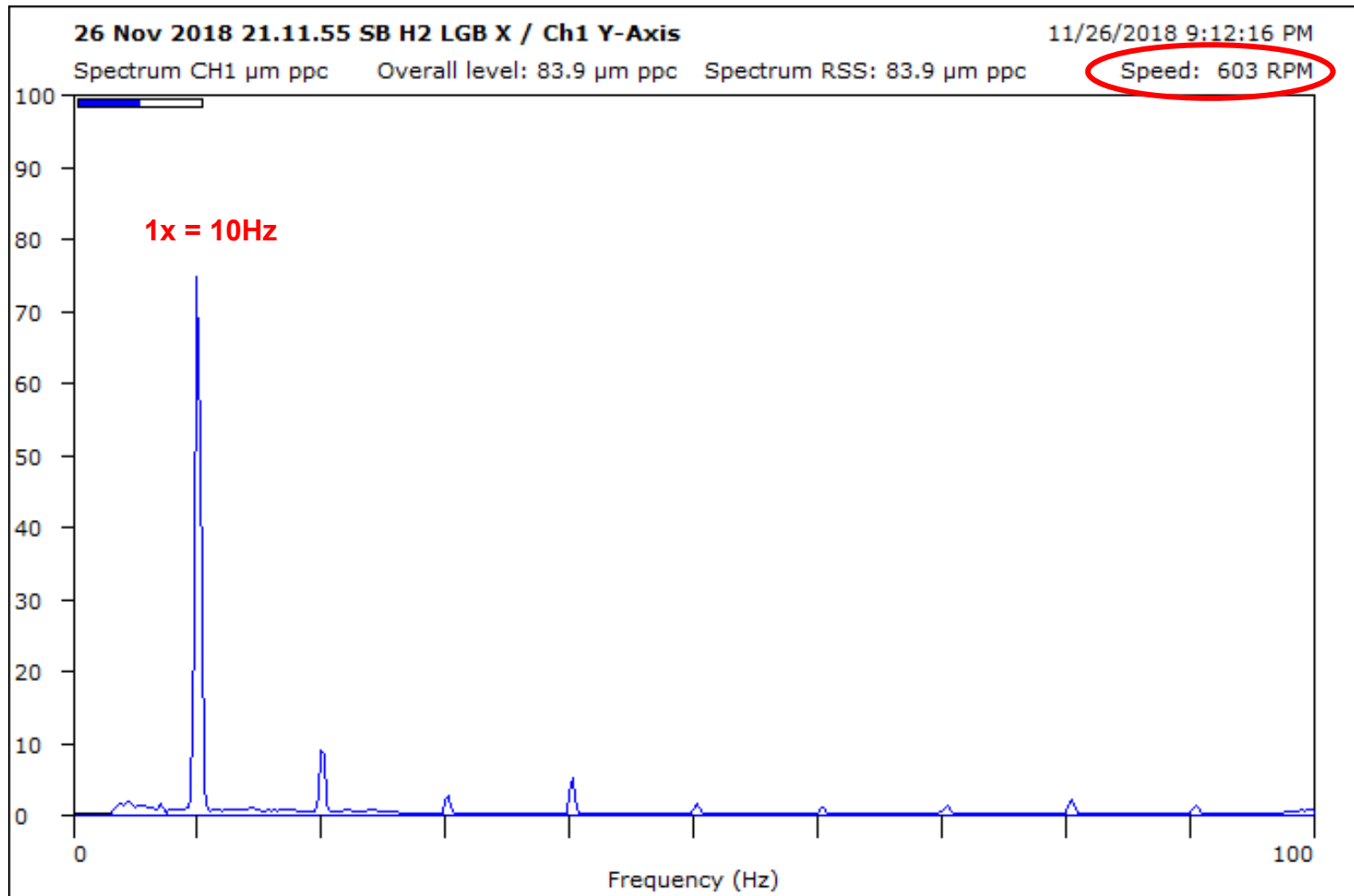
Đồ thị có dạng hình sin



2. NHẬN BIẾT MẤT CÂN BẰNG QUA PHÂN TÍCH RUNG ĐỘNG

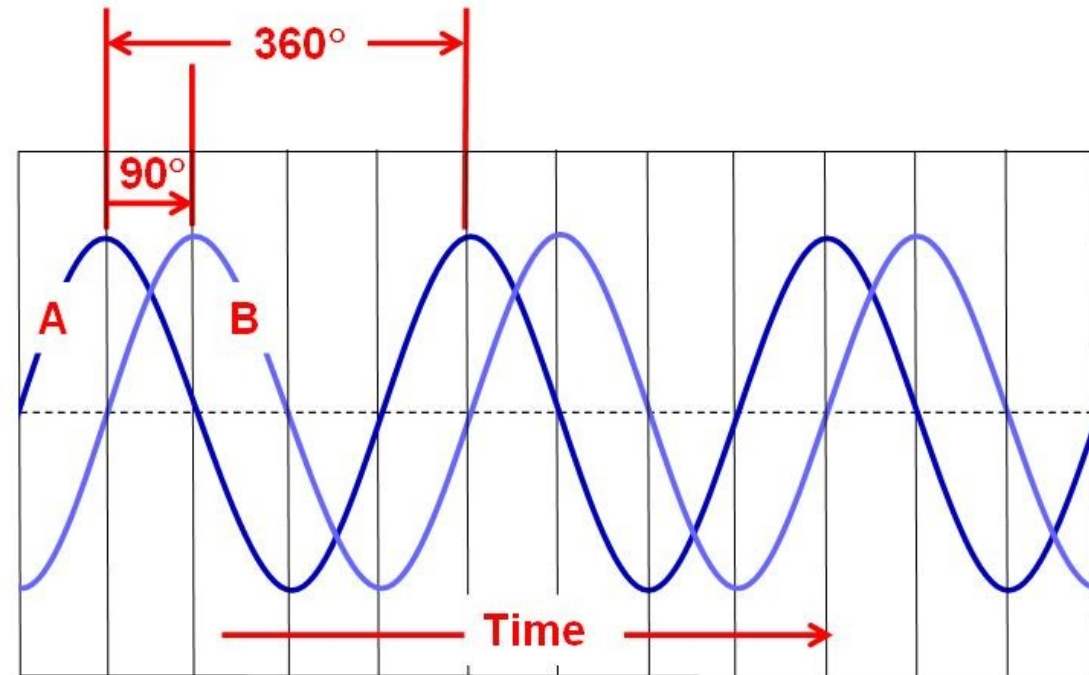
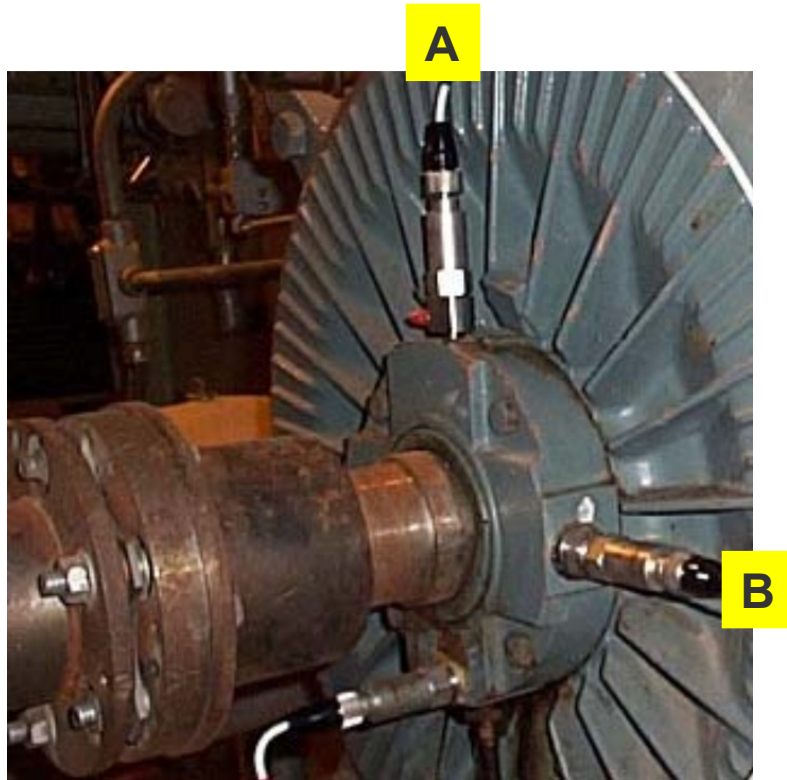
- Tín hiệu trên miền tần số

Phổ tần số có thành phần cao nổi trội tại tần số quay (1X)



2. NHẬN BIẾT MẤT CÂN BẰNG QUA PHÂN TÍCH RUNG ĐỘNG

Góc lệch pha giữa rung động theo phương đứng và phương ngang xấp xỉ 90° .



3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Phân bổ lại khối lượng trên vật quay nhằm làm giảm tối đa lực ly tâm.

- Cân bằng trên máy chuyên dụng.
- Cân bằng tại hiện trường.

3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Máy cân bằng chuyên dụng

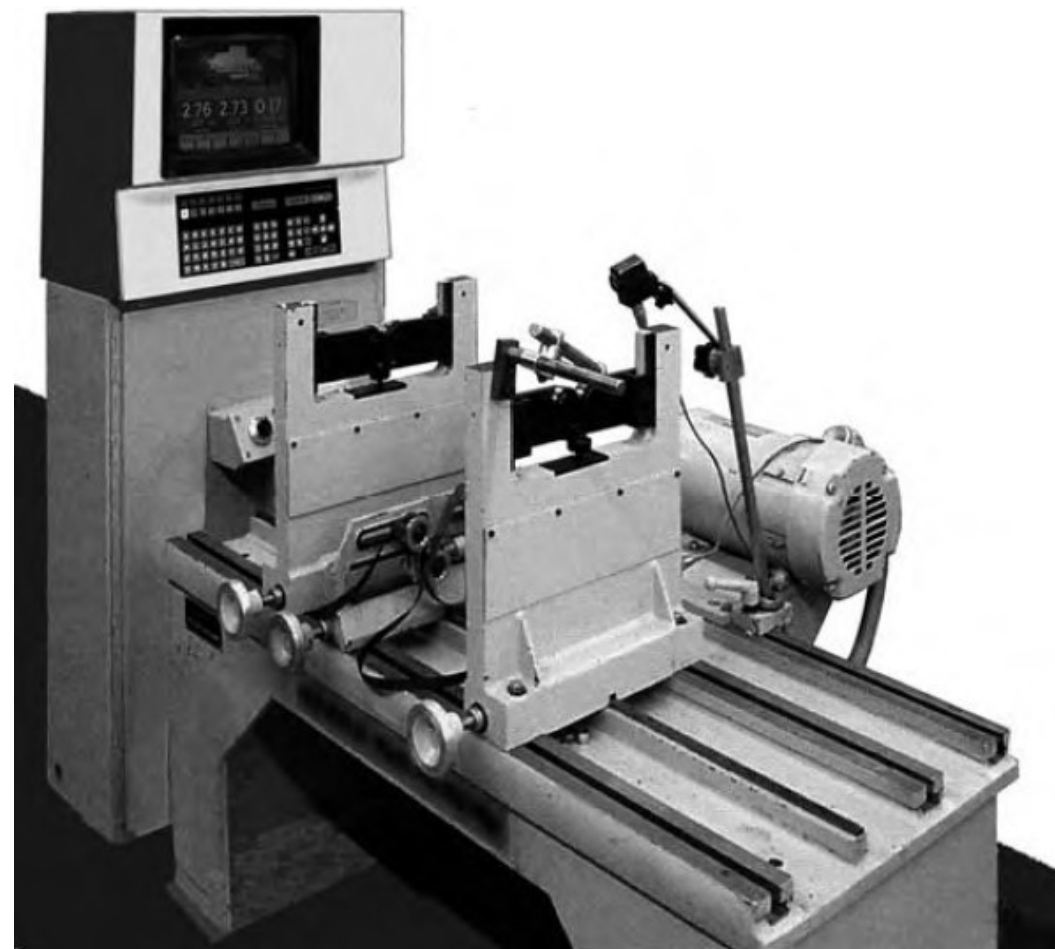
- Máy gối đỡ mềm (Soft-bearing)
 - Phải cân bằng với tốc độ cao để có tần số quay lớn hơn tần số cộng hưởng riêng của hệ thống khung đỡ.
 - Cần nhiều bước chạy để cân bằng đạt tiêu chuẩn do đó không thích hợp cho sản xuất hàng loạt.



3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Máy cân bằng chuyên dụng

- Loại sử dụng gối đỡ cứng (Hard-bearing)
 - Độ chính xác cao
 - Cân bằng với tốc độ thấp hơn tần số cộng hưởng riêng của hệ thống gối đỡ.
 - Dễ sử dụng và căn chỉnh
 - Khả năng áp dụng rộng rãi, thích hợp cho sản xuất loạt lớn.



3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường



Chú ý: Cần tuyệt đối tuân thủ nghiêm các quy định về an toàn và vận hành thiết bị

3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

- **Cân bằng một mặt phẳng**

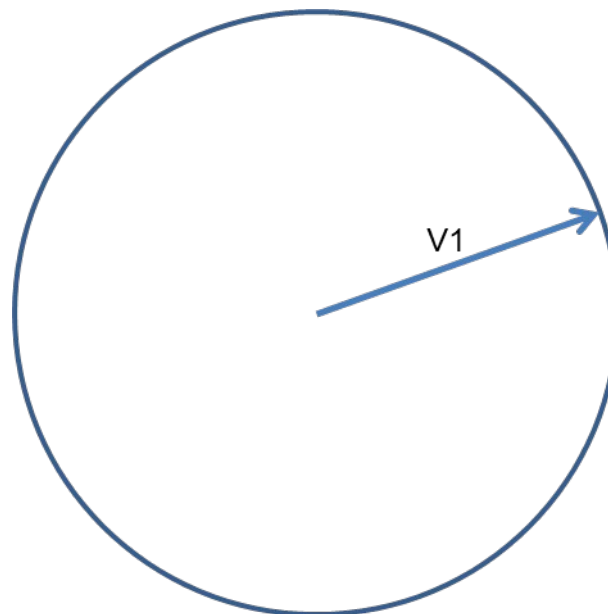
- Phương pháp 4 lần chạy



Lần chạy 1:

Lấy số liệu độ rung ban đầu V_1

Vẽ vòng tròn có bán kính V_1



3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

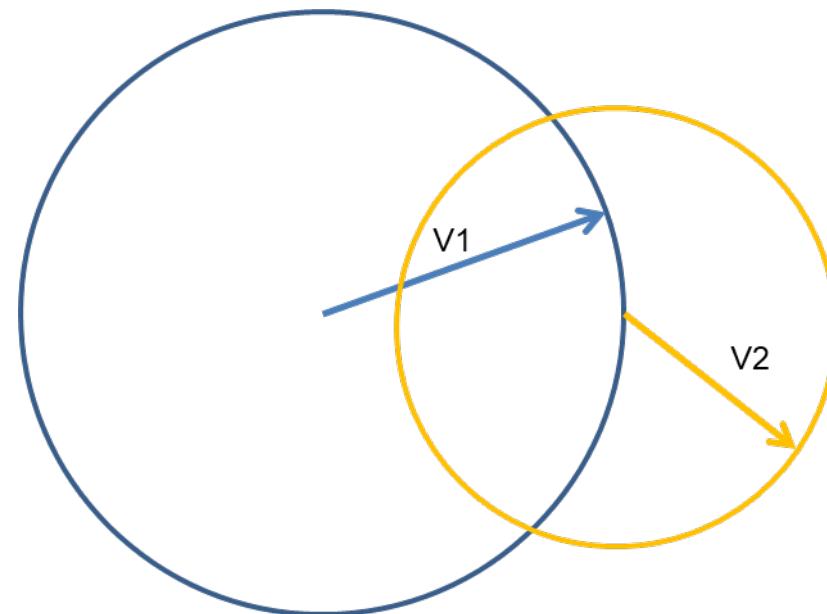
- **Cân bằng một mặt phẳng**

- Phương pháp 4 lần chạy

Lần chạy 2:

Lấy số liệu độ rung V_2 với khối lượng thử M_t đặt tại vị trí 0°

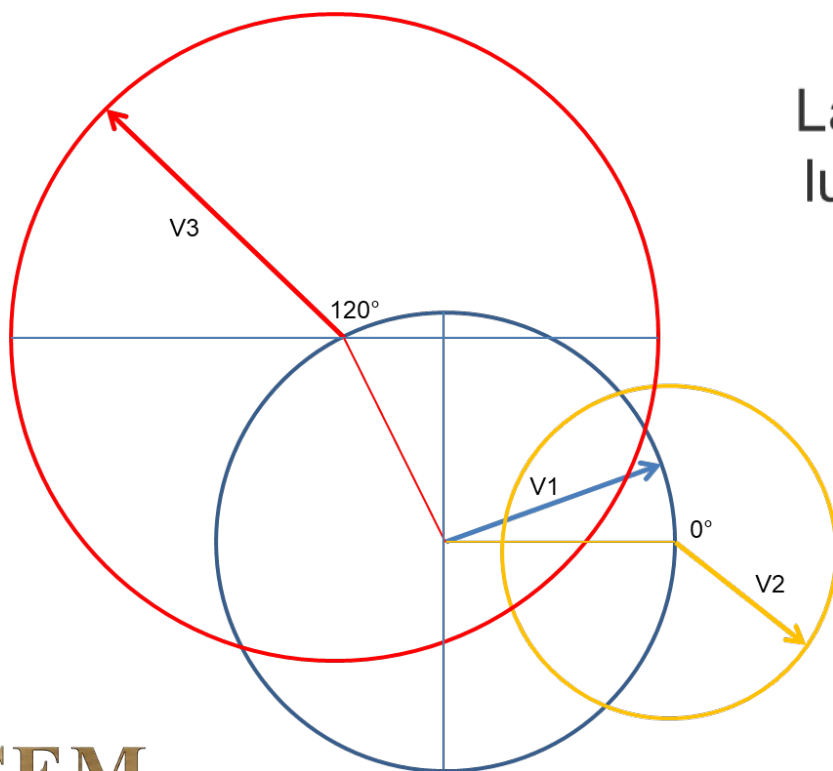
Vẽ vòng tròn có bán kính V_2 , tâm là điểm 0° tại vòng tròn V_1



3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

- **Cân bằng một mặt phẳng**
- Phương pháp 4 lần chạy



Lần chạy 3:

Lấy số liệu độ rung V2 với khối lượng thử M_t đặt tại vị trí 120°

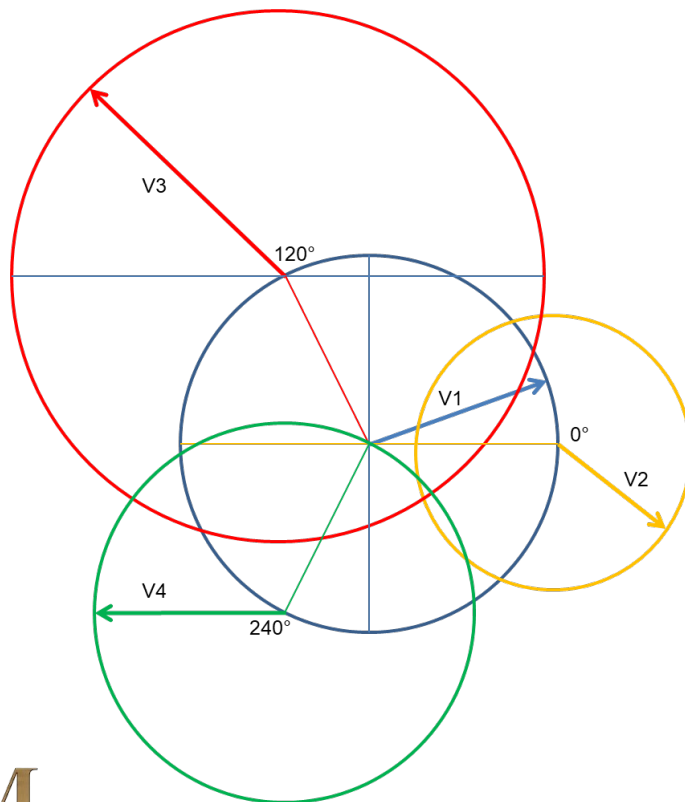
Vẽ vòng tròn có bán kính V3, tâm là điểm 120° tại vòng tròn V1

Chú ý: Góc tính ngược chiều quay và tháo khối lượng thử M_t tại 0° ở lần chạy trước

3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

- **Cân bằng một mặt phẳng**
- Phương pháp 4 lần chạy



Lần chạy 4:

Lấy số liệu độ rung V4 với khối lượng thử M_t đặt tại vị trí 240°

Vẽ vòng tròn có bán kính V4, tâm là điểm 240° tại vòng tròn V1

Chú ý: Góc tính ngược chiều quay và tháo khối lượng thử M_t tại 120° ở lần chạy trước

3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

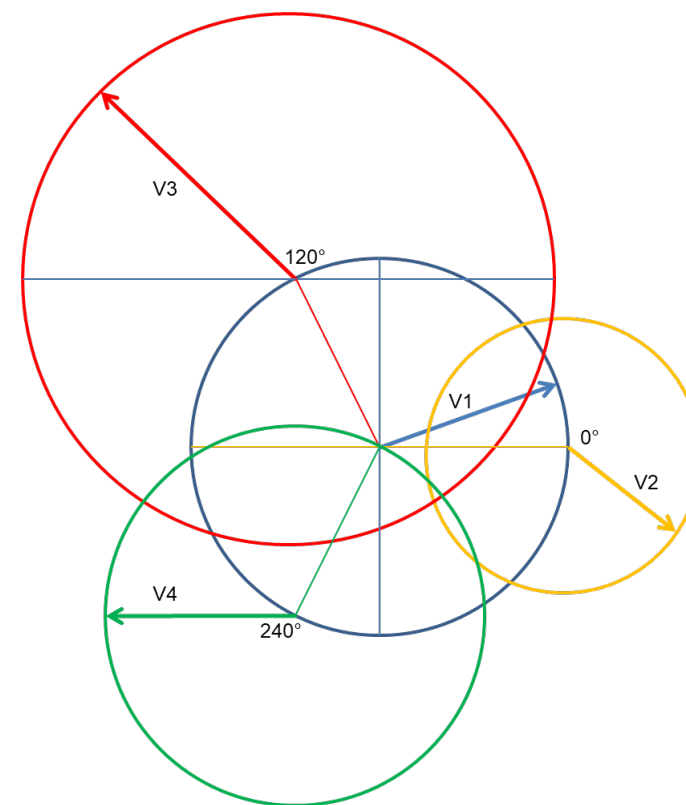
- **Cân bằng một mặt phẳng**

- Phương pháp 4 lần chạy

Xác định trọng tâm của vùng giao nhau giữa các vòng tròn V2 V3 V4

Khối lượng hiệu chỉnh M_c :

$$M_c = M_t \frac{V_1}{V_i}$$



Vị trí hiệu chỉnh: Tọa độ góc của trọng tâm vùng giao giữa các vòng tròn V2 V3 V4

3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

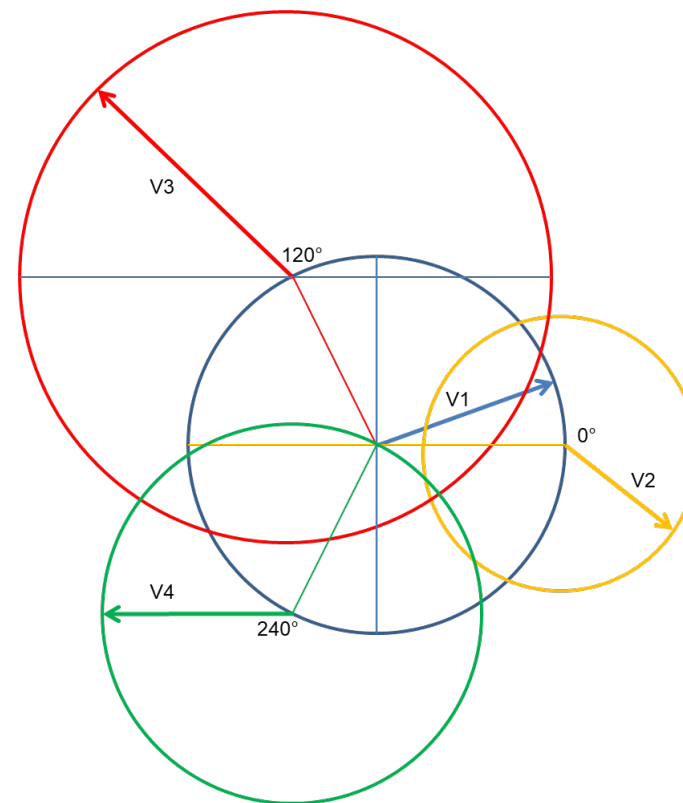
- **Cân bằng một mặt phẳng**

- Phương pháp 4 lần chạy

Xác định trọng tâm của vùng giao nhau giữa các vòng tròn V2 V3 V4

Khối lượng hiệu chỉnh M_c :

$$M_c = M_t \frac{V_1}{V_i}$$



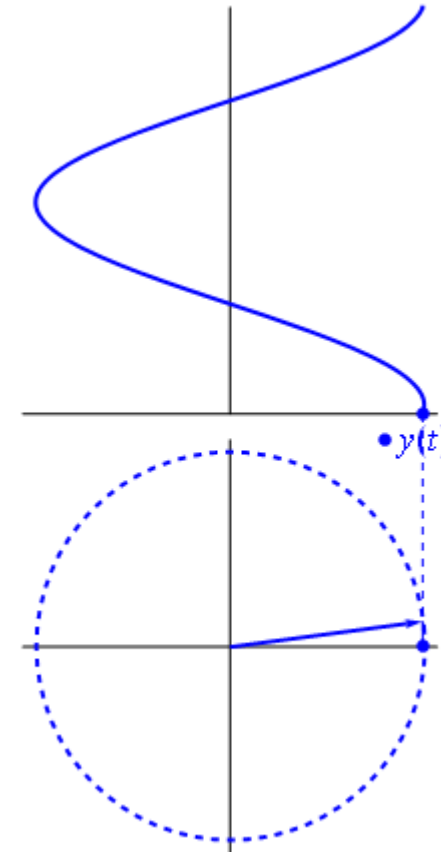
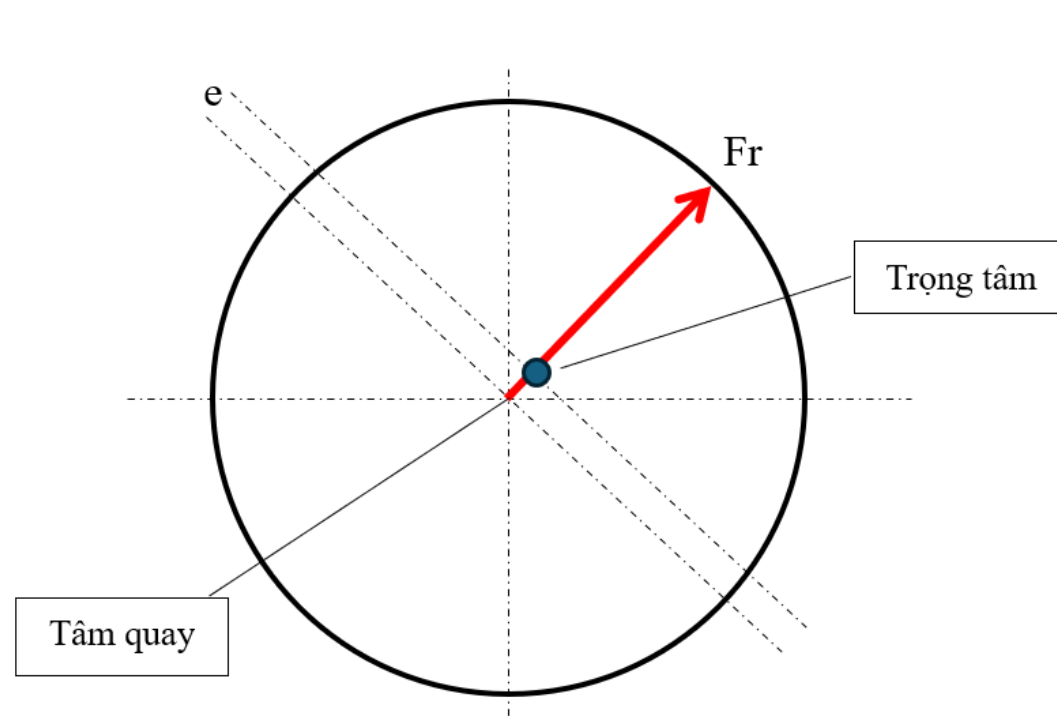
Vị trí hiệu chỉnh: Tọa độ góc của trọng tâm vùng giao giữa các vòng tròn V2 V3 V4

3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

▪ Cân bằng một mặt phẳng

Biểu diễn dao động điều hòa bằng vector trên hệ tọa độ cực



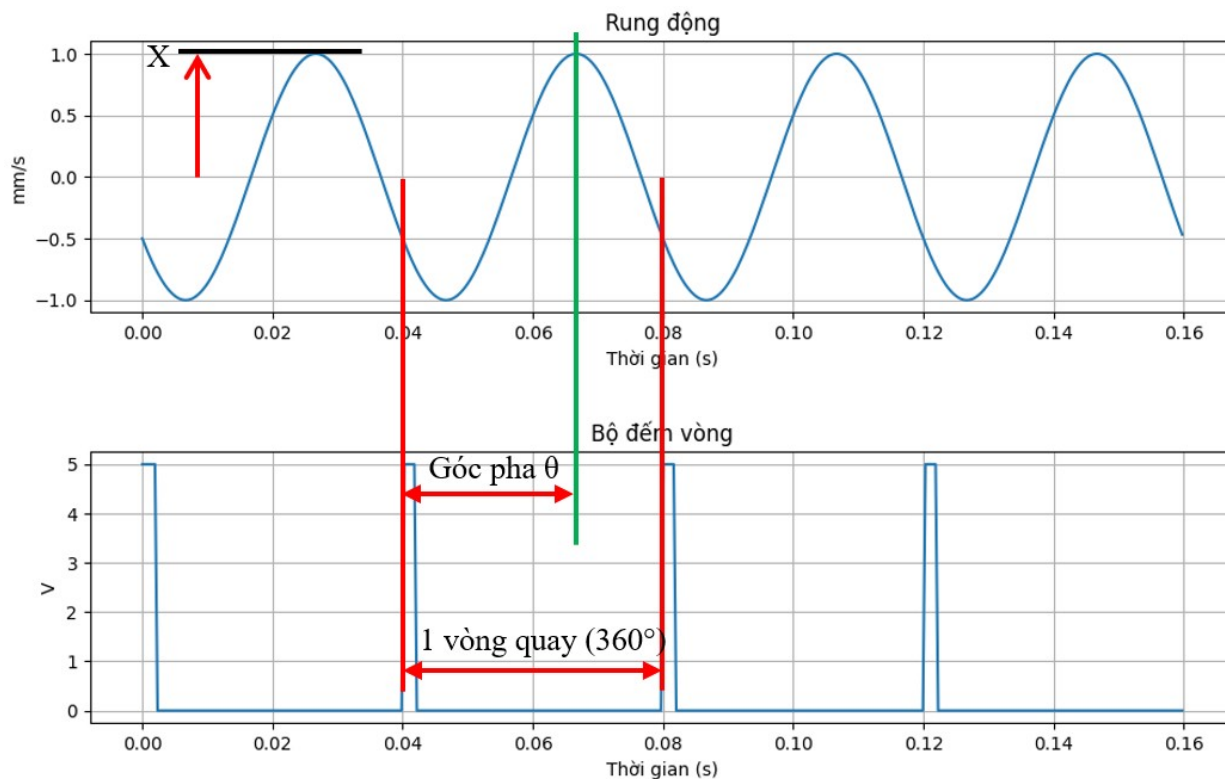
Lực ly tâm được biểu diễn bằng vector quay

3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

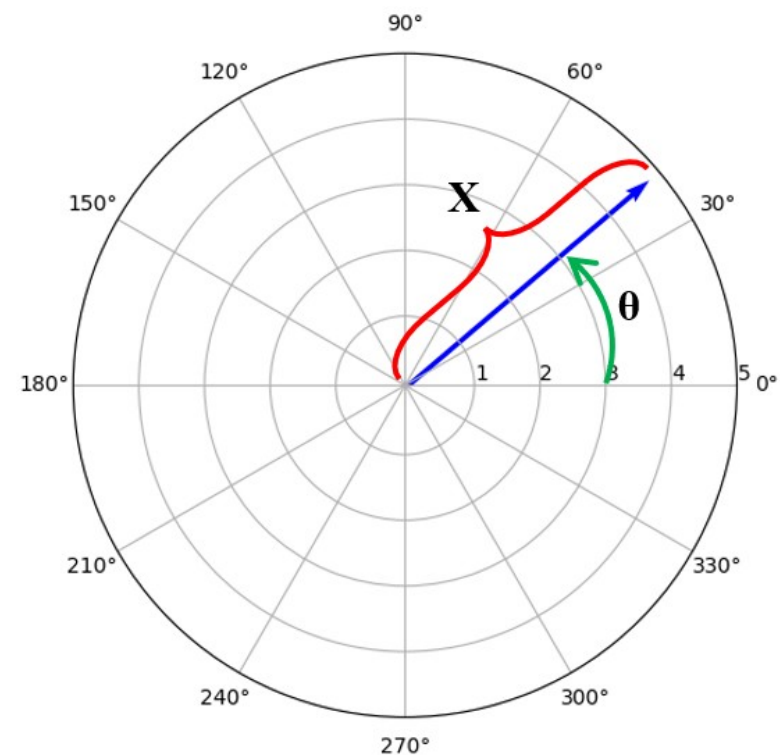
Cân bằng tại hiện trường

▪ Cân bằng một mặt phẳng

Biểu diễn dao động điều hòa bằng vector trên hệ tọa độ cực



Vector lực ly tâm trong hệ tọa độ cực



Kết hợp tín hiệu của đầu đo pha (1 xung/vòng)

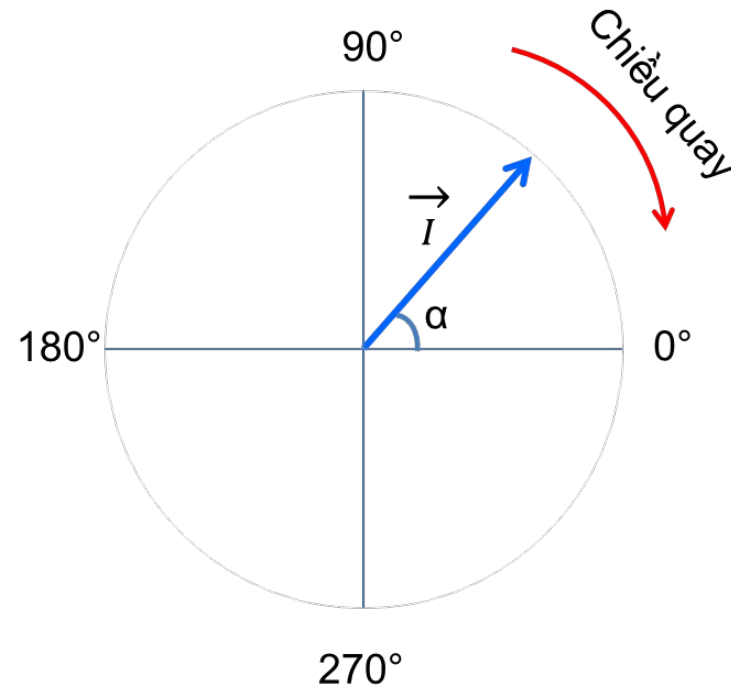
3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

- **Cân bằng một mặt phẳng**
- Phương pháp véc tơ, 3 lần chạy

Lần chạy 1:

Lấy số liệu độ rung và góc pha ban đầu, vector I



3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

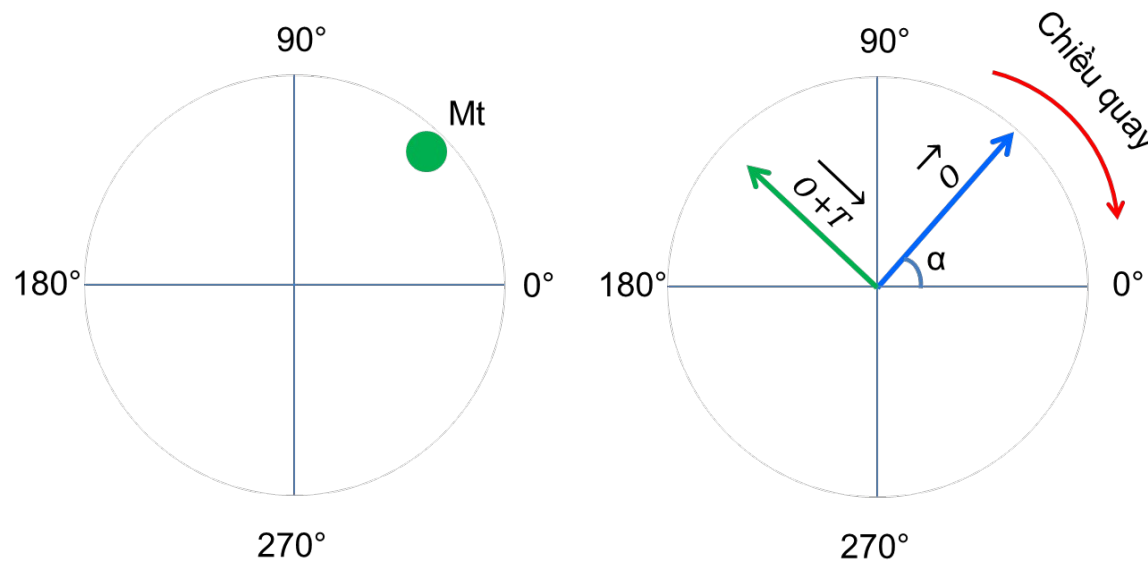
Cân bằng tại hiện trường

- **Cân bằng một mặt phẳng**
- Phương pháp véc tơ, 3 lần chạy



Lần chạy 2:

Lấy số liệu độ rung và góc pha với khối lượng thử M_t đặt tại vị trí bất kỳ



3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

- **Cân bằng một mặt phẳng**
- Phương pháp véc tơ, 3 lần chạy



Lần chạy 3:

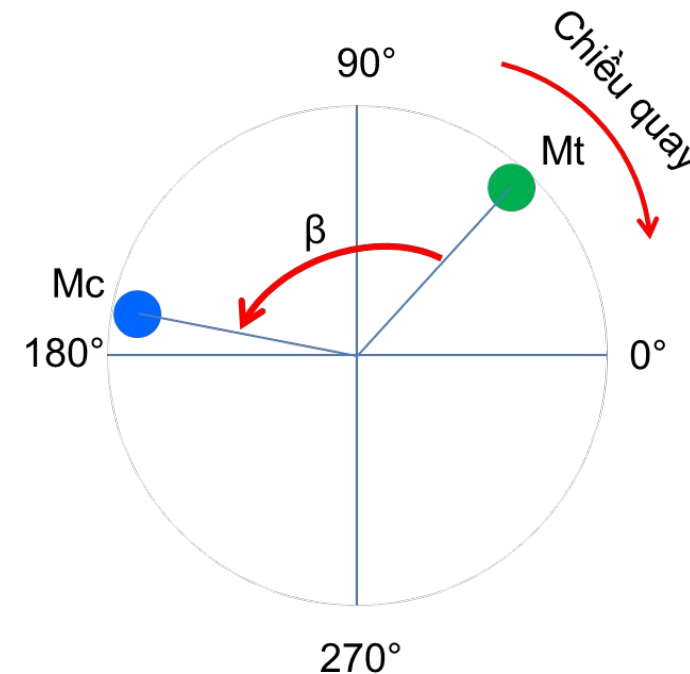
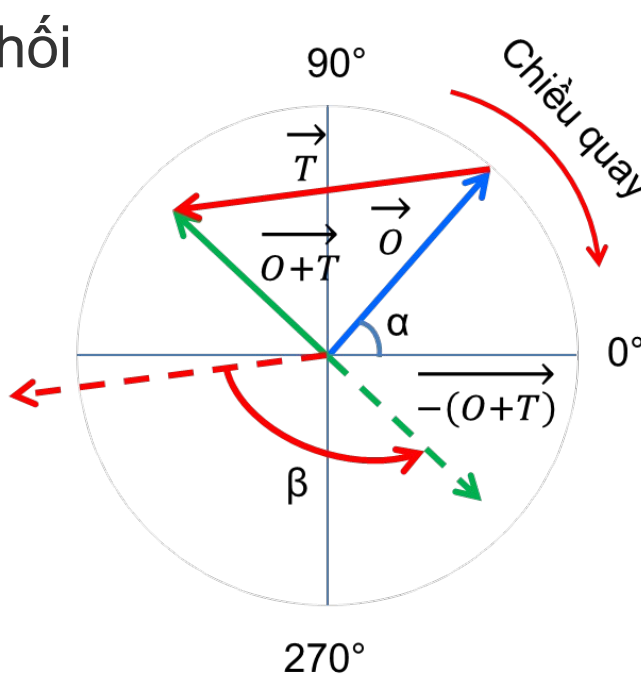
3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

- **Cân bằng một mặt phẳng**
- Phương pháp véc tơ, 3 lần chạy

Tính toán: với lựa chọn giữ lại khối lượng thử M_t ở bước trước

$$M_c = M_t \frac{|\overrightarrow{(O+T)}|}{|\overrightarrow{T}|}$$



3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

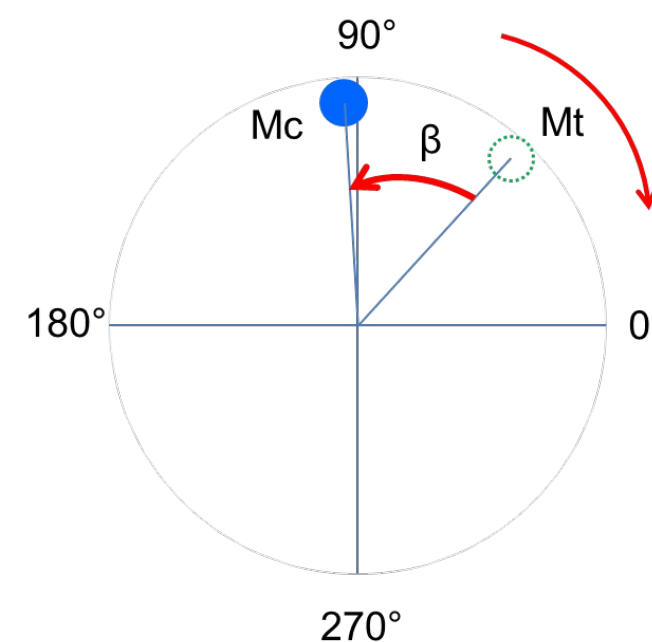
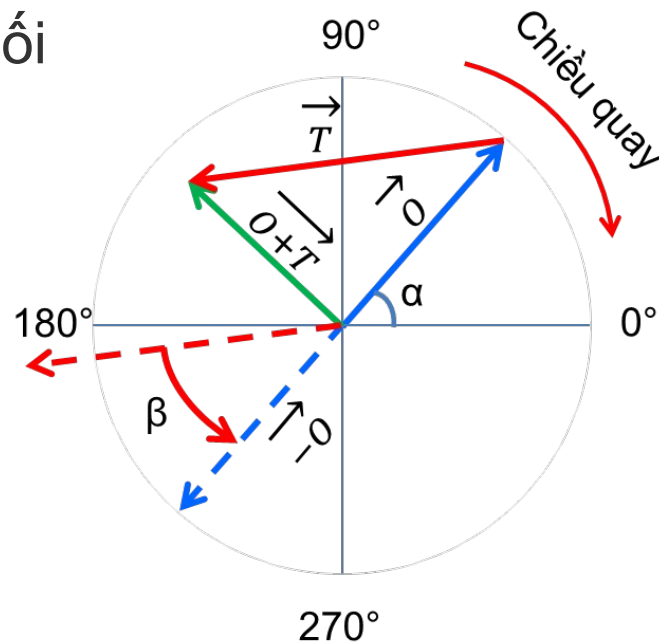
Cân bằng tại hiện trường

- **Cân bằng một mặt phẳng**

- Phương pháp véc tơ, 3 lần chạy

Tính toán: với lựa chọn gỡ bỏ khối
lượng thử M_t ở bước trước

$$M_c = M_t \frac{\left| \vec{o} \right|}{\left| \vec{T} \right|}$$

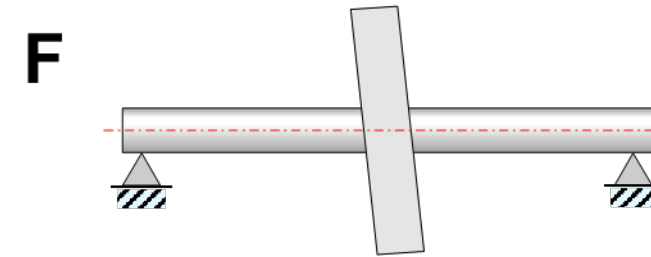
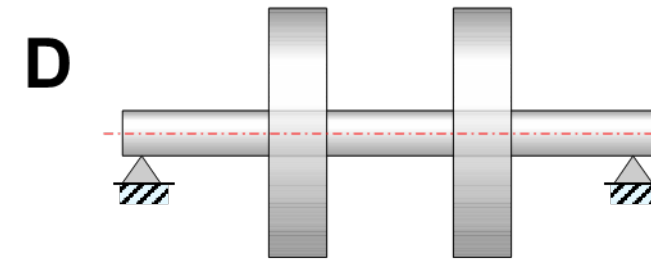
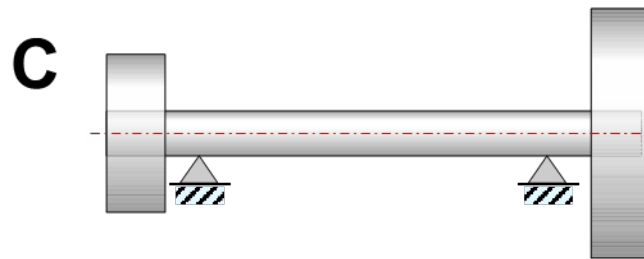
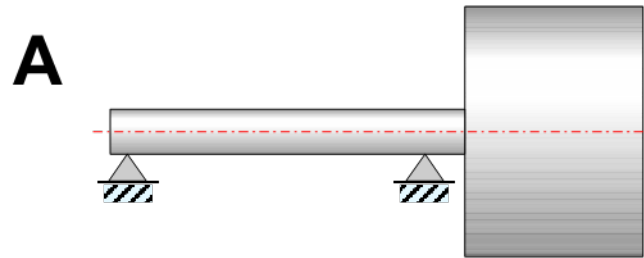


3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

▪ Cân bằng hai mặt phẳng

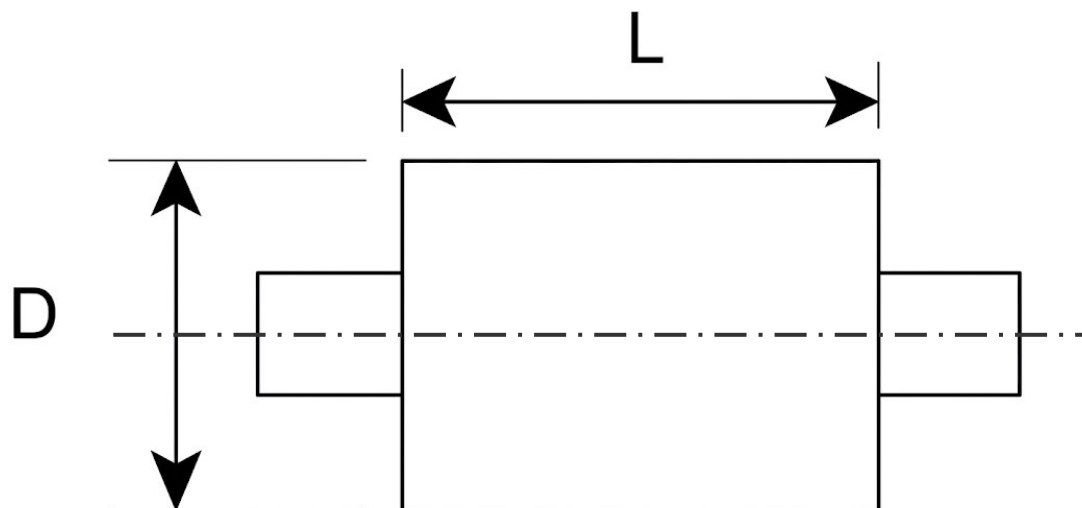
Đối tượng áp dụng



3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

- **Cân bằng hai mặt phẳng**



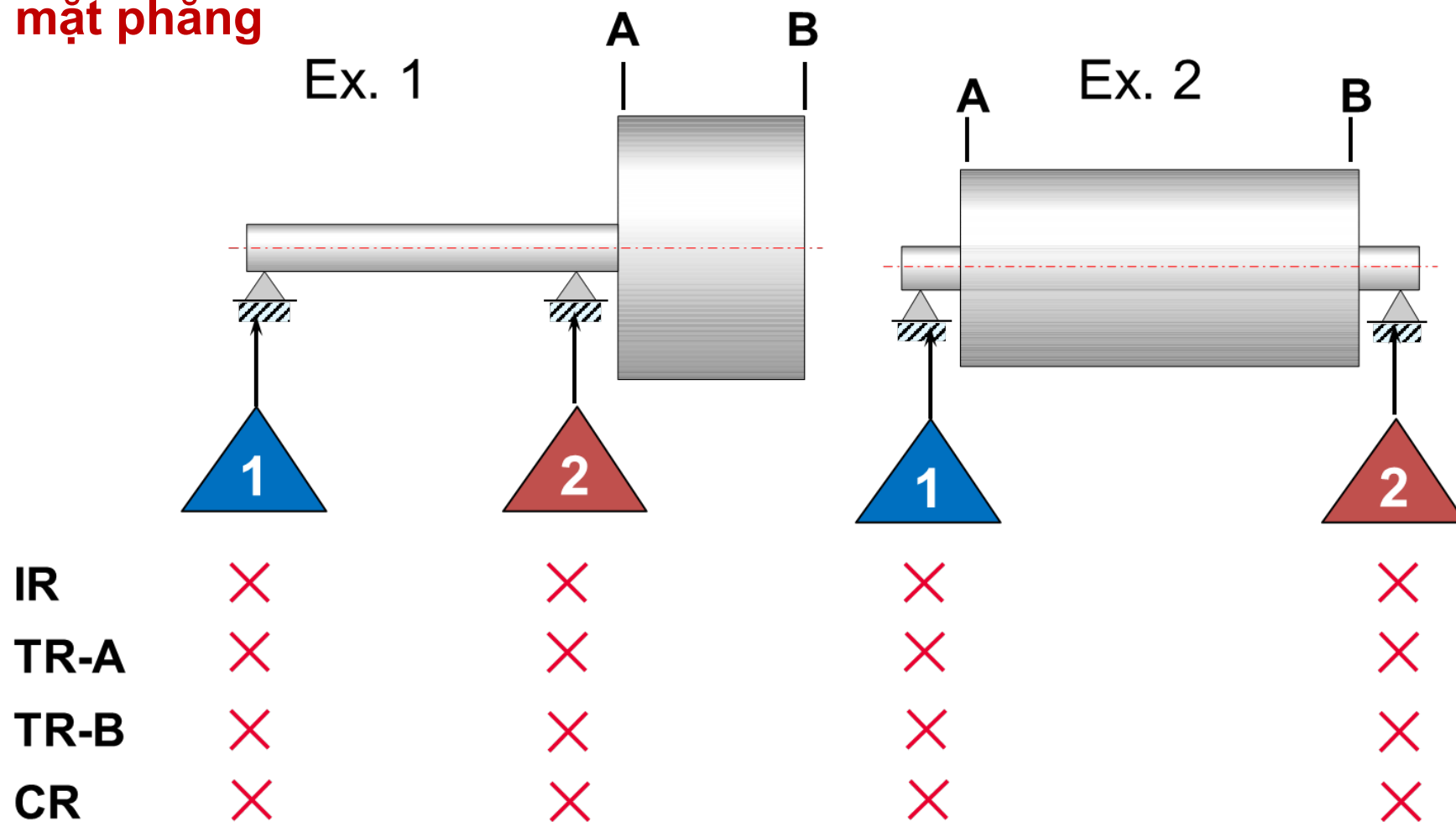
Tỷ lệ L/D	Tốc độ làm việc (vòng/phút)
$< 0,5$	> 1000
$> 0,5$	> 500

Cần dựa vào góc lệch pha giữa 2 gôi để xác định chính xác hơn

3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

- **Cân bằng hai mặt phẳng**



3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

- **Cân bằng hai mặt phẳng**

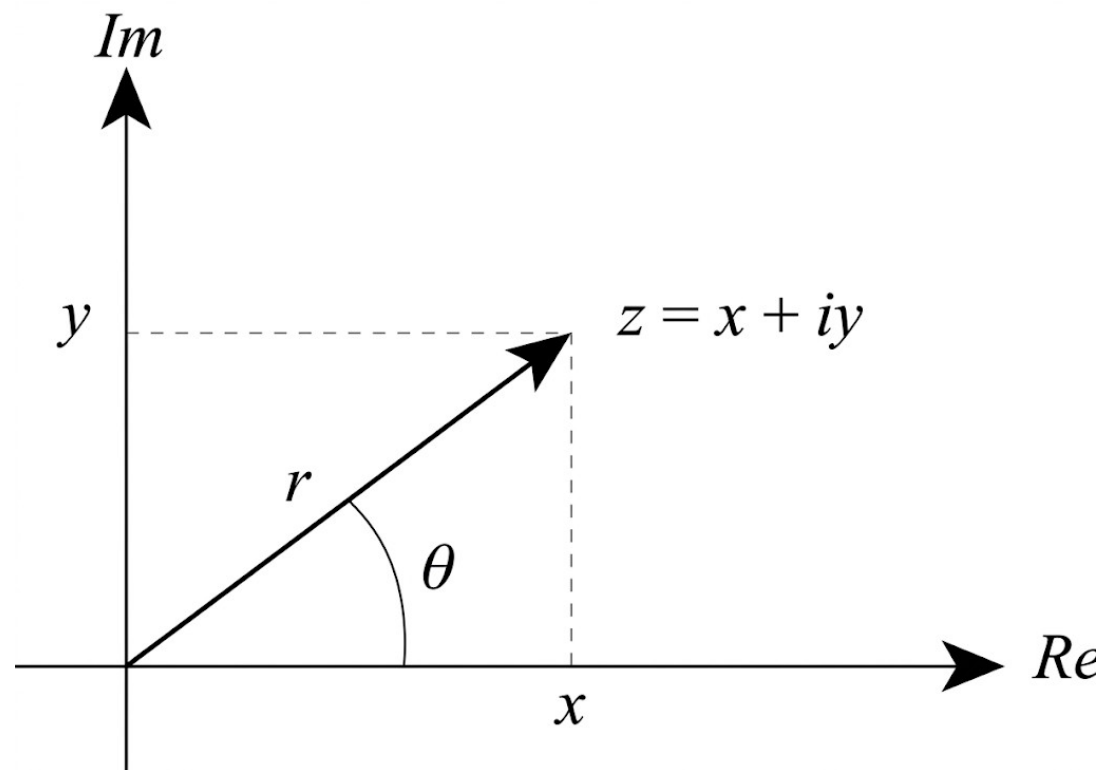
Phương pháp ma trận

Chuyển đổi vector sang số phức

$$\vec{V}(r, \theta) = x + iy$$

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$



3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Cân bằng tại hiện trường

▪ Cân bằng hai mặt phẳng

Phương pháp ma trận

Trình tự thực hiện:

- **IR:** Lần chạy ban đầu, không có đối trọng thử
- **TR-A:** Lần chạy thứ 2, với đối trọng thử tại mặt A
- **TR-B:** Lần chạy thứ 3. với đối trọng thử tại mặt B
- **CW:** Tính toán các vị trí và khối lượng hiệu chỉnh.
- **CR:** Lần chạy thứ tư, chạy kiểm tra và tính toán

tinh chỉnh

3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Trình tự tính toán:

- Lần chạy ban đầu:

Xác định được các vector rung động tại mặt A và B: $\vec{O}_1$ và $\vec{O}_2$

- Khối lượng thử tại mặt A, **giả sử gắn khối lượng m_{tA} tại góc 0° :**

Vector khối lượng thử tại A: $\vec{m}_{tA}$

Xác định được các vector rung động tại mặt A và B: $\vec{V}_{1A}$ và $\vec{V}_{2A}$

- Khối lượng thử tại mặt B,

Vector khối lượng thử tại B: $\vec{m}_{tB}$ **giả sử gắn khối lượng m_{tB} tại góc 0° :**

Xác định được các vector rung động tại mặt A và B: $\vec{V}_{1B}$ và $\vec{V}_{2B}$

3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Xác định ma trận hệ số ảnh hưởng:

Với cân bằng 2 mặt phẳng, ma trận hệ số ảnh hưởng K có kích thước 2×2 , 4 phần tử đều là số phức:

$$K = \begin{bmatrix} \overrightarrow{K_{11}} & \overrightarrow{K_{12}} \\ \overrightarrow{K_{21}} & \overrightarrow{K_{22}} \end{bmatrix}$$

Trong đó:

$$\overrightarrow{K_{11}} = \frac{\overrightarrow{V_{1A}} - \overrightarrow{O_1}}{\overrightarrow{m_{tA}}}$$

$$\overrightarrow{K_{12}} = \frac{\overrightarrow{V_{1B}} - \overrightarrow{O_1}}{\overrightarrow{m_{tB}}}$$

$$\overrightarrow{K_{21}} = \frac{\overrightarrow{V_{2A}} - \overrightarrow{O_2}}{\overrightarrow{m_{tA}}}$$

$$\overrightarrow{K_{22}} = \frac{\overrightarrow{V_{2B}} - \overrightarrow{O_2}}{\overrightarrow{m_{tB}}}$$

3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Tính toán khối lượng hiệu chỉnh:

Vector của khối lượng hiệu chỉnh tại mặt A: $\overrightarrow{CW_A}$

Vector của khối lượng hiệu chỉnh tại mặt B: $\overrightarrow{CW_B}$

Khối lượng hiệu chỉnh được tính như sau:

$$\begin{bmatrix} \overrightarrow{CW_A} \\ \overrightarrow{CW_B} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \overrightarrow{K_{11}} & \overrightarrow{K_{12}} \\ \overrightarrow{K_{21}} & \overrightarrow{K_{22}} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} -\overrightarrow{O_1} \\ -\overrightarrow{O_2} \end{bmatrix}$$

Do đó:

$$\overrightarrow{CW_A} = \frac{\overrightarrow{K_{22}} \times \overrightarrow{O_1} - \overrightarrow{K_{12}} \times \overrightarrow{O_2}}{\overrightarrow{K_{11}} \times \overrightarrow{K_{22}} - \overrightarrow{K_{12}} \times \overrightarrow{K_{21}}}$$

$$\overrightarrow{CW_B} = \frac{\overrightarrow{K_{11}} \times \overrightarrow{O_2} - \overrightarrow{K_{21}} \times \overrightarrow{O_1}}{\overrightarrow{K_{11}} \times \overrightarrow{K_{22}} - \overrightarrow{K_{12}} \times \overrightarrow{K_{21}}}$$

3. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG MẤT CÂN BẰNG

Ví dụ áp dụng:

Cân bằng rotor động cơ 4 cực, đơn vị đo rung là mm/s RMS

- **Lần chạy thứ nhất:**
 - $O1 = 3.295 \angle 308.6^\circ$
 - $O2 = 3.477 \angle 331.9^\circ$
- **Lần chạy thứ 2:** đối trọng thử đặt tại mặt A: 135g $\angle 0^\circ$
 - $V1A = 3.671 \angle 291.0^\circ$
 - $V2A = 5.222 \angle 307.3^\circ$
- **Lần chạy thứ 3:** đối trọng thử đặt tại mặt B: 250g $\angle 0^\circ$
 - $V1B = 4.417 \angle 328.6^\circ$
 - $V2B = 3.890 \angle 342.4^\circ$
- **Kết quả:**

1. Tầm quan trọng của cân bằng chi tiết quay:

Cân bằng chi tiết quay mang ý nghĩa **cả kinh tế và kỹ thuật**.

2. Nguyên nhân và các dạng mất cân bằng:

Do **phân bố vật liệu không đều** trong chi tiết.

3. Phân loại các dạng mất cân bằng:

Mất cân bằng tĩnh, mất cân bằng mô men, mất cân bằng động.

4. Các phương pháp khắc phục hiện tượng mất cân bằng:

Cân bằng trên máy chuyên dụng, cân bằng tại hiện trường.

! Ý kiến, câu hỏi ?

XỬ LÝ BÀI TOÁN MẤT CÂN BẰNG ĐỘNG TRONG CÁC HỆ TRUYỀN ĐỘNG QUAY TRÊN CƠ SỞ PHÂN TÍCH RUNG ĐỘNG

Biên soạn: ThS. Nguyễn Phương Hùng

Trình bày: ThS. Nguyễn Phương Hùng

