



**ĐẠI HỌC
BÁCH KHOA HÀ NỘI**
HANOI UNIVERSITY
OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Khóa học 5 ngày đào tạo cho các kỹ sư nhà máy Vicem:

“GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG THÔNG MINH VÀ BẢO TRÌ DỰ BÁO DỰA TRÊN AI CHO THIẾT BỊ QUAY”

Giới thiệu giảng viên

Báo cáo viên chuyên đề chuyên sâu



PGS. TS. Nguyễn Trọng Du

- Giảng viên cao cấp, ĐHBK Hà Nội
- Chuyên gia Giám sát tình trạng & AI

Các hướng nghiên cứu chính của PGS. Du Nguyễn Trọng

- Chẩn đoán hư hỏng thiết bị quay bằng phân tích tín hiệu rung động.
- Xử lý tín hiệu và phân tích thời gian–tần số.
- Chẩn đoán bánh răng, ổ lăn và hộp giảm tốc trong điều kiện tốc độ thay đổi.
- Ứng dụng học máy và học sâu trong nhận dạng và phân loại hư hỏng.
- Dự báo tuổi thọ còn lại (RUL) và bảo trì dự đoán (Predictive Maintenance).
- Phát triển các phương pháp chẩn đoán ít cảm biến và không cần tín hiệu tốc độ (tacholeless diagnostics).
- Xây dựng hệ thống giám sát thông minh cho thiết bị công nghiệp theo định hướng Công nghiệp 4.0.

Lĩnh vực ứng dụng: Nhà máy xi măng, nhiệt điện, thép, hóa chất, máy nén khí, tua-bin gió và các hệ thống truyền động công nghiệp.

Mục tiêu khóa học & Kế hoạch đào tạo

Chuyên đề: Giám sát rung thông minh & Bảo trì dự đoán dựa trên AI

5 ngày

Thời lượng (08-12/6/2026)

40-55-5

% Lý thuyết · Thực hành · Đánh giá

VICEM

Viện CN Xi măng · Vĩnh Tuy, HN

4 + 1

4 Chương lý thuyết + 1 Chương định hướng

MỤC TIÊU ĐẦU RA KHÓA ĐÀO TẠO

- Lý thuyết rung & Vai trò giám sát tình trạng
- Nhận diện lỗi thiết bị quay theo tiêu chuẩn ISO
- Ứng dụng mô hình AI (ML, DL, XAI, RAG) chẩn đoán
- Thực hành đo rung, cân bằng động & xây Chatbot

Công cụ: Python, Google Colab, SHAP, PeakVue

Đề cương khóa học — Kế hoạch 5 ngày

Tích hợp lý thuyết & Thực hành: Từ nền tảng đến ứng dụng AI hiện trường

Ngày	Buổi	Nội dung chính	Phụ trách
1	Sáng	Tầm quan trọng của đo rung động, hệ thống giám sát và lý thuyết rung động máy quay.	PGS Du (Hung)
	Chiều	Bảo trì truyền thống & hiện đại theo hướng AI; cài đặt phần mềm.	GS Khanh, PGS Du
2	Sáng	Các dạng hỏng phổ biến trên chi tiết quay và các chuẩn ISO về rung động.	PGS Du (Quyền)
	Chiều	Học sâu + Google Colab cho chẩn đoán; thực hành 01 bộ dữ liệu.	GS Khanh, PGS Du
3	Sáng	Chẩn đoán động cơ điện & hộp số bánh răng bằng AI + phân tích rung.	PGS Du, TS Tuấn
	Chiều	Chẩn đoán máy nghiền đứng trên cơ sở phân tích tín hiệu rung.	PGS Du (Cường, Hung)
4	Sáng	AI cho giám sát: SVM, Random Forest, trích xuất đặc trưng; RAG trợ lý bảo trì.	TS Chiến (Bình)
	Chiều	Thực hành 1: SVM/RF, SHAP giải thích chẩn đoán, chatbot tra cứu bảo trì.	TS Chiến (Bình)
5	Sáng	Bài toán mất cân bằng động trong hệ truyền động quay bằng phân tích rung.	PGS Du, ThS Hùng
	Chiều	Thực hành 2: Cân bằng động và đo rung tại hiện trường.	PGS Du, ThS Hùng



**ĐẠI HỌC
BÁCH KHOA HÀ NỘI**
HANOI UNIVERSITY
OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Bài 1: Tầm quan trọng của đo rung động, hệ thống giám sát và lý thuyết rung động máy quay.

ONE LOVE. ONE FUTURE.

Trường Cơ khí · Đại học Bách khoa Hà Nội



Mục tiêu & đối tượng

Sau bài học, học viên hiểu vai trò của giám sát rung động và nắm vững lý thuyết rung động của máy quay công nghiệp.



Bối cảnh nhà máy

Vì sao máy quay là 'xương sống' của nhà máy và vì sao chúng rung.



Giám sát tình trạng

Hiểu hệ thống Condition Monitoring (CM) và chiến lược bảo trì dự đoán.



Lý thuyết rung động

Mô tả dao động, hệ dao động, cộng hưởng và phân tích phổ.



Chẩn đoán lỗi

Nhận diện đặc trưng rung động của các lỗi điển hình ở máy quay.

5

tiết học có cấu trúc

150

slide lý thuyết & minh họa

2

tài liệu kỹ thuật nền tảng

ISO

10816 / 1940 / 4406...

Lộ trình 5 tiết

Từ tầm quan trọng của đo rung động đến lý thuyết và chẩn đoán máy quay.

1 Vì sao đo rung động

Bối cảnh nhà máy, hậu quả khi không giám sát, chiến lược bảo trì & ROI.

2 Hệ thống giám sát tình trạng

CM, đường cong P-F, kiến trúc hệ thống, ISO 10816, Công nghiệp 4.0.

3 Mô tả dao động máy quay

Biên độ, tần số, pha; D-V –A; miền thời gian & miền tần số (FFT).

4 Hệ dao động & cộng hưởng

Mô hình một bậc tự do, tần số tự nhiên, cộng hưởng, tốc độ tới hạn.

Tài liệu & phương pháp học

Kết hợp lý thuyết, hình minh họa và chữ ký phổ thực tế.

Tài liệu nền tảng

- **Beginner's Guide to Machine Vibration (Commtest).**
- An Engineer's Guide to Vibration (PRÜFTECHNIK).
- Tiêu chuẩn ISO 10816/20816, 1940, 13373, 18436.

Phương pháp

- **Mỗi tiết: mục tiêu → lý thuyết → minh họa → tóm tắt → ôn tập.**
- Gắn lý thuyết với đặc trưng phổ và ví dụ thực tế.
- Dùng nhiều sơ đồ và biểu đồ trực quan.
- Câu hỏi ôn tập cuối mỗi tiết để củng cố.

Phần 1

Tầm quan trọng của đo rung động

Vì sao đo rung động & giám sát tình trạng thiết bị lại sống còn với nhà máy công nghiệp

Máy quay trong nhà máy

Bản chất rung động

Hậu quả & rủi ro

Chiến lược bảo trì

Lợi ích & ROI

Mục tiêu của phần 1



Vai trò của máy quay

Máy quay là cốt lõi sản xuất và là nguồn rung động.



Bản chất rung động

Rung là gì, vì sao máy rung, thế nào là rung 'xấu'.



Hậu quả

Chi phí, an toàn và rủi ro khi không giám sát.



Chiến lược bảo trì & ROI

Phản ứng – phòng ngừa – dự đoán và hiệu quả kinh tế.

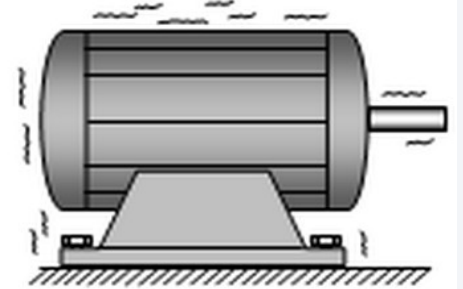
Máy quay — 'xương sống' của nhà máy

Hầu hết thiết bị sản xuất đều dựa trên bộ phận quay vận hành liên tục.

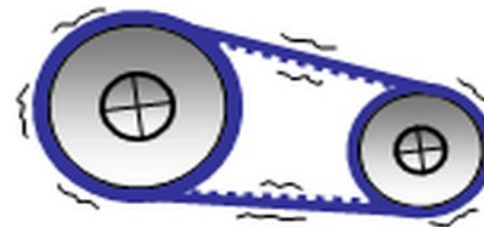
- **Bơm, quạt, mô tơ, máy nén, turbine, hộp số, máy ly tâm...**
- Thường vận hành 24/7, là nút thắt của dây chuyền.
- Một máy dừng có thể kéo cả dây chuyền dừng theo.
- Mọi bộ phận quay đều sinh ra rung động.
- Theo dõi rung = 'nghe nhịp tim' của máy.



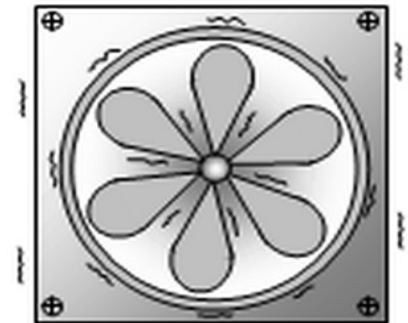
Bơm rung



Mô tơ rung



Dây đai rung



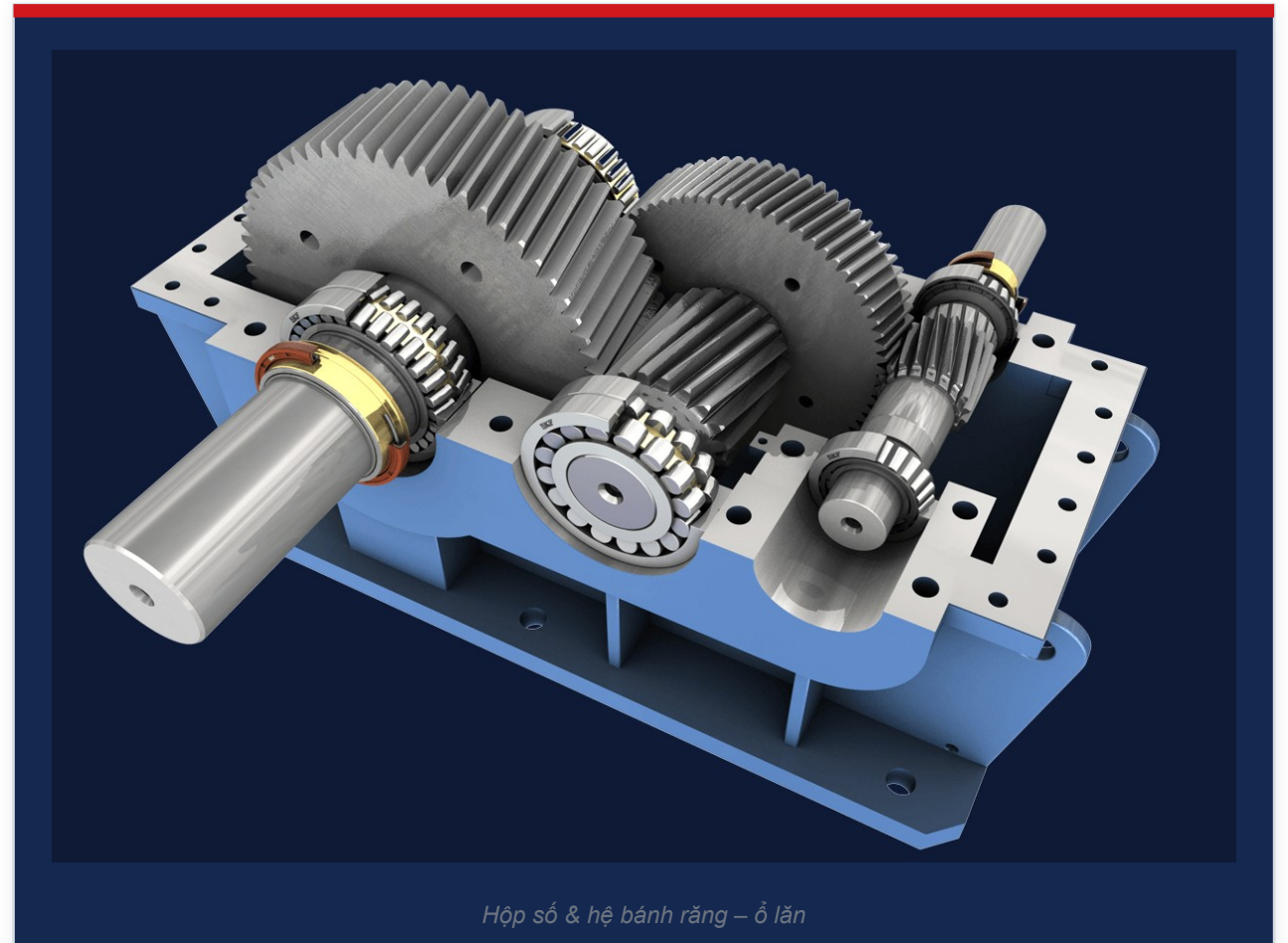
Quạt rung

Các loại máy quay điển hình (nguồn: Commtest)

Hệ truyền động quay thực tế

Mô tơ – khớp nối – hộp số – ổ đỡ – tải: chuỗi truyền động điển hình.

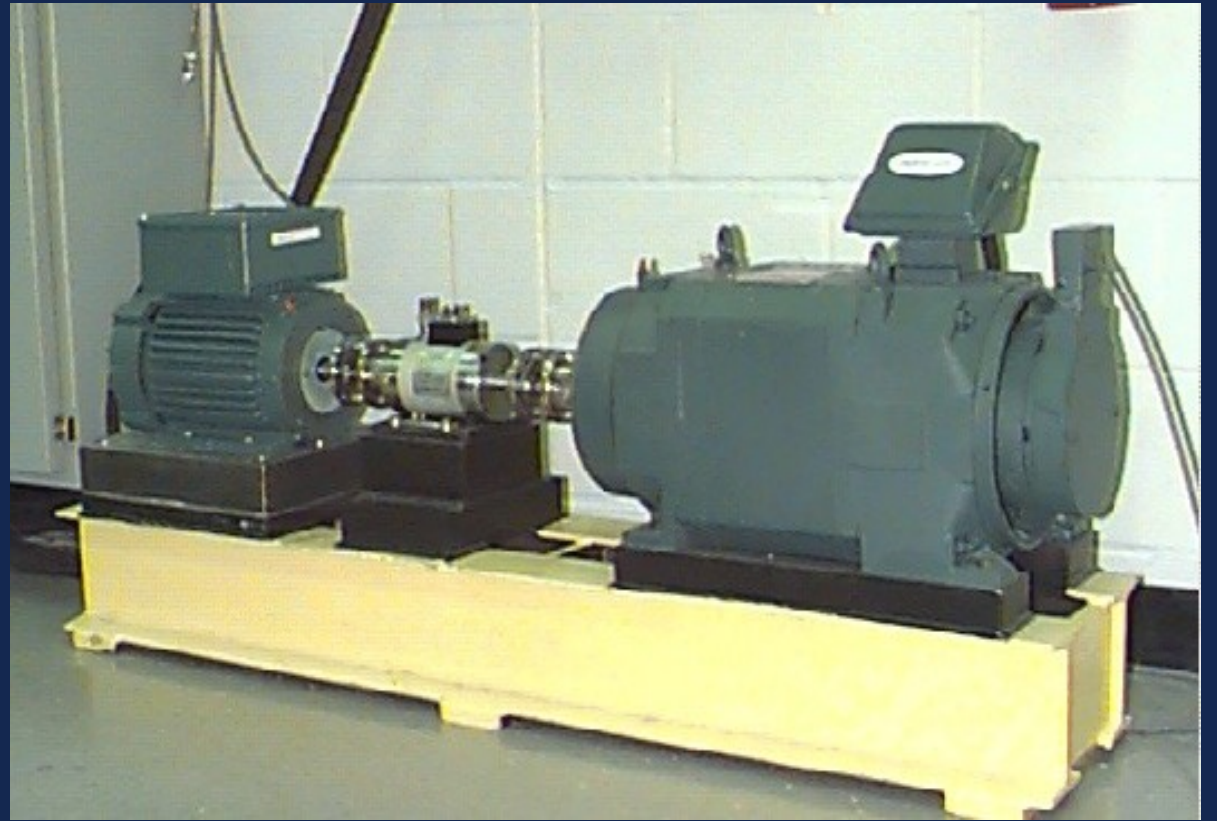
- **Bánh răng, ổ lăn, trục, khớp nối** là các phần tử quay chính.
- Mỗi phần tử có thể là nguồn rung khi hư hỏng.
- Ổ lăn và bánh răng sinh rung ở tần số đặc trưng riêng.
- Hiểu kết cấu giúp đặt cảm biến và chẩn đoán đúng.



Đo rung trên hệ máy thực

Cảm biến gắn tại ổ đỡ của mô tơ – khớp nối – tải.

- Cảm biến đặt tại các gối đỡ (ổ lăn).
- Đo theo ba phương: kính ngang/đứng & dọc trục.
- Mỗi gối đỡ là một điểm đo cố định, lặp lại.
- Tín hiệu phản ánh tình trạng ổ, trục, khớp nối.



Hệ máy mô tơ – trục – ổ đỡ với cảm biến rung

Máy quay hiện diện ở mọi ngành



Điện lực

Turbine, máy phát, bơm cấp, quạt khói.



Dầu khí & hoá chất

Máy nén, bơm ly tâm, máy khuấy.



Xi măng & khoáng sản

Máy nghiền, quạt, lò quay, băng tải.



Thép & luyện kim

Máy cán, quạt gió, bơm làm mát.



Giấy & dệt

Lô sấy, quạt, hộp số tốc độ cao.



Sản xuất & ô tô

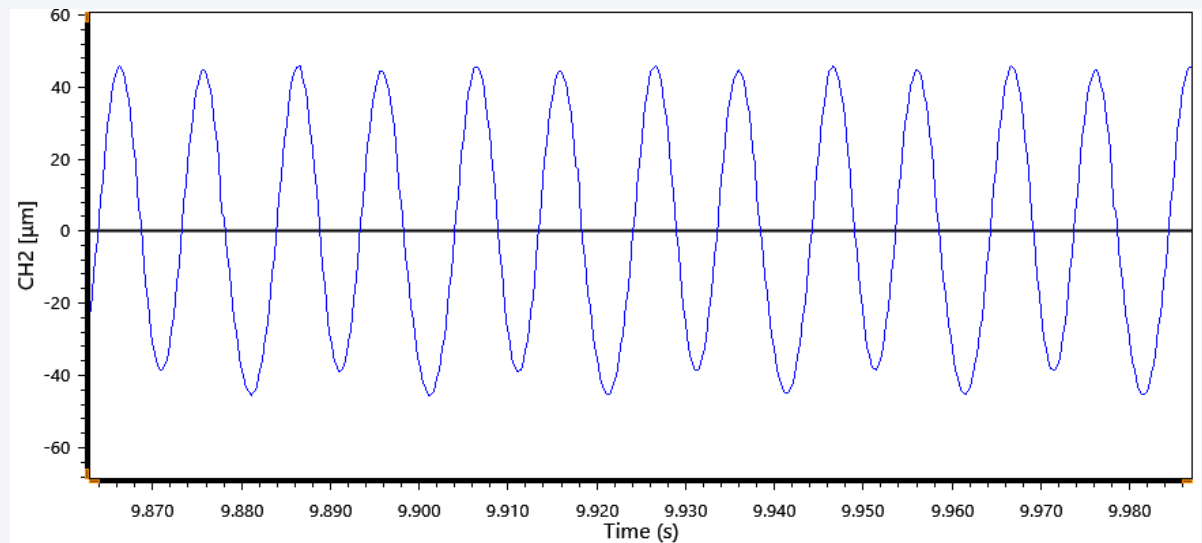
Trục chính CNC, mô tơ, robot.

Rung động là gì?

Rung động là dao động của bộ phận quanh vị trí cân bằng.

Định nghĩa: Rung động cơ học là dao động của một bộ phận quanh vị trí cân bằng, sinh ra bởi các lực biến thiên tuần hoàn bên trong hoặc tác động lên máy.

- Đặc trưng bởi biên độ, tần số và pha.
- Biên độ phản ánh 'độ mạnh' của rung.
- Tần số cho biết rung 'đến từ đâu'.
- Rung thực = tổng nhiều dao động.



Dao động hình sin theo thời gian

Vì sao máy lại rung?

Các lực lặp lại bên trong máy là nguồn gốc của rung động.



Mất cân bằng

Khối lệch tâm $\rightarrow$ lực ly tâm ở $1\times$.



Lệch trục

Hai trục không đồng tâm $\rightarrow 1\times$ và $2\times$.



Lỏng lẻo

Bu lông lỏng, khe hở $\rightarrow$ va đập.



Hư ổ bi

Khuyết tật rãnh lăn $\rightarrow$ xung tần số cao.



Hư bánh răng

Ăn khớp lỗi $\rightarrow$ tần số GMF.



Cộng hưởng

Trùng tần số tự nhiên $\rightarrow$ khuếch đại.

Nguyên nhân: Mất cân bằng

Lỗi phổ biến nhất ở máy quay.

Sự lệch tâm khối lượng: Trọng tâm khối lượng của cụm rotor không trùng với trục quay thực tế. Khoảng lệch này tạo ra một mô-men quán tính bất đối xứng khi quay.

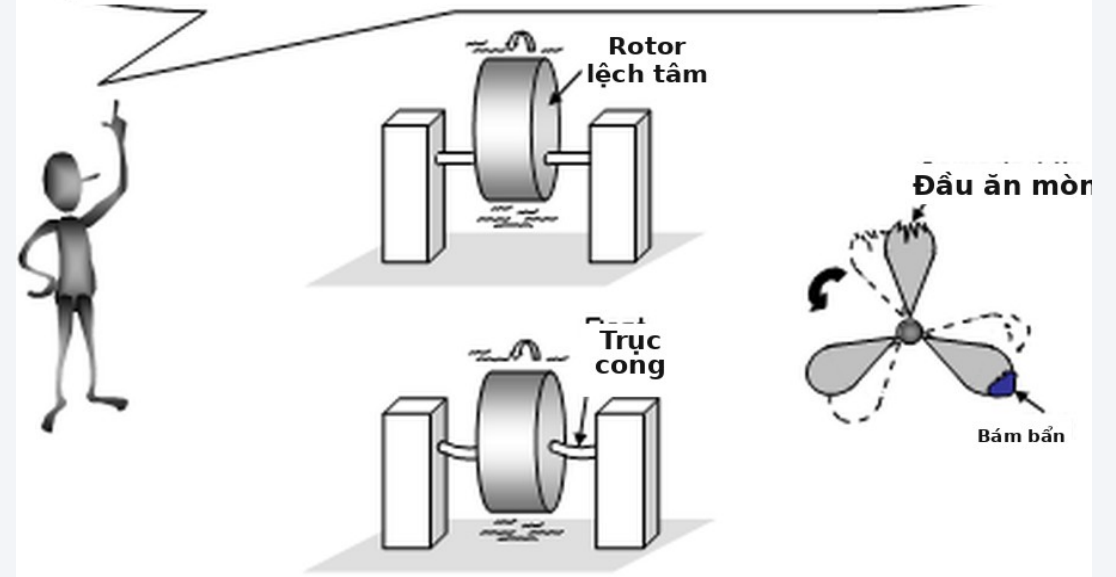
Các yếu tố cấu thành khuyết tật:

- **Khuyết tật chế tạo:** Vật liệu đúc không đồng, sai số gia công cơ khí bám theo biên dạng hình học.
- **Sai sót hình học khi lắp ráp:** Các chi tiết lắp trên trục (cánh bơm, cánh quạt, pully) bị phân bố khối lượng không đều hoặc lắp lệch tâm.
- **Biến đổi trong vận hành:** Bám cặn/bụi bẩn cục bộ, mài mòn cơ học/ăn mòn hóa học làm thay đổi phân bố khối lượng ban đầu, hoặc trục bị biến dạng nhiệt gây cong trục.

Bản chất động lực học: Lực ly tâm gây ra bởi khối lượng mất cân bằng tỉ lệ thuận với **biên phương tốc độ góc** ($F_c = m \cdot e \cdot \omega^2$). Lực này tuần hoàn và đổi hướng liên tục theo góc quay.

Đặc trưng phổ rung động : Biên độ rung động tăng vọt tại tần số quay của trục (**Tần số 1 × RPM**).

Chi tiết mất cân bằng có 'điểm nặng'; khi quay sẽ sinh lực lặp lại tác động lên máy. Mất cân bằng thường do sai số gia công, mật độ vật liệu không đều, bu lông không đồng cỡ, rỗ khí trong vật đúc, thiếu khối cân bằng, cân bằng sai, cuộn dây mô tơ lệch và cánh quạt gãy, méo, ăn mòn hoặc bám bẩn.



Các nguồn gây mất cân bằng (nguồn: Commtest)

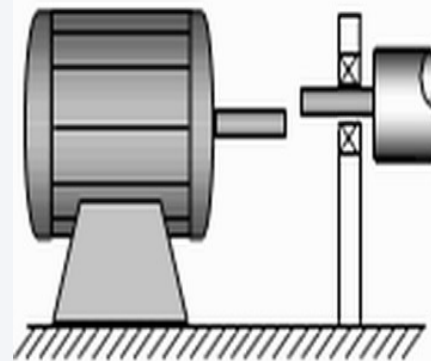
Nguyên nhân: Lệch trục

Hai trục truyền động không đồng tâm, phát sinh tải trọng động và mô-men uốn tuần hoàn.

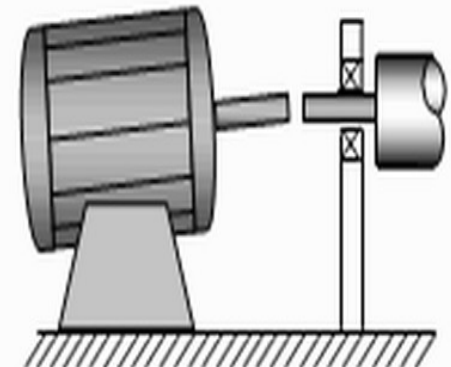
- **Lệch song song và/hoặc lệch góc.**
- Do lắp ráp, nền lún, giãn nở nhiệt, soft foot.
- Biểu hiện ở $1\times$ và đặc biệt $2\times$.
- Lệch góc $\rightarrow$ rung dọc trục nổi bật.

Chi tiết bị lệch trục tạo ra 'mô men uốn'; khi quay sẽ sinh lực lặp lại tác động lên máy. Lệch trục thường do lắp ráp thiếu chính xác, nền không phẳng, giãn nở nhiệt, biến dạng do siết bu lông và lắp khớp nối sai.

Lệch song song



Lệch góc



Lệch song song & lệch góc (nguồn: Commtest)

Lực kích thích & đáp ứng

Rung đo được = lực kích thích $\times$ đặc tính động học của kết cấu.

Lực kích thích (nguyên nhân)

- Lực tuần hoàn do lỗi cơ khí.
- Mất cân bằng: lực ly tâm $\propto$ tốc độ².
- Lệch trục: lực & mô men uốn.
- Va đập: ổ bi, bánh răng, lỏng.
- Lực thủy-khí động: cánh bơm/quạt.

Đáp ứng (đo được)

- Phụ thuộc độ cứng, khối lượng, cản.
- Kết cấu mềm $\rightarrow$ rung lớn hơn.
- Gần tần số tự nhiên $\rightarrow$ khuếch đại.
- Đo rung = đo đáp ứng để suy ra nguyên nhân.
- Cần cả biên độ, tần số & pha.

Rung 'chấp nhận được' vs 'nguy hiểm'

Mọi máy đều rung; vấn đề là mức rung có vượt ngưỡng hay không.

- **Không máy nào rung bằng 0 — luôn có mức rung nền.**
- Rung tăng dần theo thời gian là dấu hiệu hư hỏng.
- Đánh giá theo tiêu chuẩn (ISO 10816/20816).
- Thiết lập 'mức nền' (baseline) khi máy còn tốt.
- Theo dõi xu hướng quan trọng hơn một giá trị đơn lẻ.

Hư hỏng thực tế của máy quay

Hư hỏng không xử lý sớm dẫn tới phá huỷ chi tiết.

- Tróc rỗ, mòn, nứt, gãy là hậu quả cuối cùng.
- Bắt đầu từ khuyết tật nhỏ → lan rộng theo thời gian.
- Giai đoạn sớm có dấu hiệu rung báo trước.
- Phát hiện sớm giúp tránh phá huỷ và dừng máy.



Hư hỏng bề mặt bánh răng / ổ lăn

Hậu quả khi KHÔNG giám sát



Hư hỏng nặng

Hỏng lan rộng, phá huỷ máy.



Dừng máy đột ngột

Gián đoạn sản xuất, downtime.



Chi phí cao

Sửa khẩn cấp, tồn kho lớn.



Rủi ro an toàn

Sự cố bất ngờ đe dọa con người.



Giao hàng trễ

Mất uy tín, vi phạm hợp đồng.



Chất lượng giảm

Sản phẩm lỗi do rung quá mức.

Bài toán kinh tế: chi phí & lợi ích

Số liệu trích từ tài liệu nguồn PRÜFTECHNIK — An Engineer's Guide.

~50%

Sự cố máy do lệch trục/căn chỉnh sai

25%

Giảm chi phí bảo trì nhờ chương trình CM

£62K

Tiết kiệm/năm (nhà máy chi £250K)

£50,7K

Tiết kiệm điện/năm nhờ căn chỉnh

- **Nguồn: PRÜFTECHNIK — An Engineer's Guide; số liệu 25% dẫn theo báo cáo DTI (Anh) 1988.**
- Nhà máy chi £250.000/năm cho bảo trì → tiết kiệm ~£62.000/năm (chưa kể sản lượng, phụ tùng).
- Căn chỉnh tốt: $30.000 \text{ kW} \times 0,75\% \times £0,03/\text{kWh} = £6,75/\text{giờ} \approx £50.680/\text{năm}$.
- Dưới 10% máy đạt dung sai căn chỉnh khuyến nghị; mòn dây đai tăng tới 80% do lệch pu-li.

Rủi ro an toàn & môi trường



An toàn con người

Vỡ rotor, văng mảnh, cháy nổ.



Tài sản

Hư dây chuyền, thiết bị lân cận.



Môi trường

Rò rỉ hoá chất, dầu khi bơm/nén hỏng.



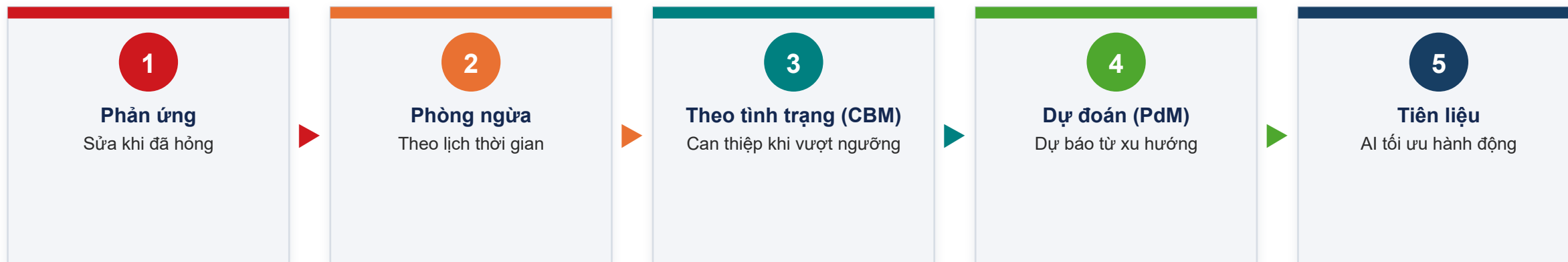
Tuân thủ

Đáp ứng quy định an toàn & bảo hiểm.

Năm nấc thang bảo trì

Mức trưởng thành tăng dần từ 'chạy đến hỏng' đến 'tiên liệu'.

Reactive Maintenance → Preventive Maintenance → Condition-Based Maintenance → Predictive Maintenance



Trọng tâm khoá học: Bảo trì theo tình trạng (CBM) và dự đoán (PdM) — cả hai dựa trên giám sát rung động, là nền tảng của bảo trì 4.0.

Bảo trì phản ứng (Run-to-failure)

Chỉ can thiệp khi máy đã hỏng.

Ưu điểm

- Đơn giản, không đầu tư ban đầu.
- Tận dụng tối đa tuổi thọ chi tiết rẻ.
- Phù hợp máy không quan trọng.

Nhược điểm

- **Hỏng đột ngột, không lường trước.**
- Downtime & chi phí cao.
- Rủi ro an toàn, hư hỏng thứ cấp.
- Tồn kho phụ tùng lớn.

Bảo trì phòng ngừa (Preventive)

Bảo trì theo lịch thời gian, bất kể tình trạng thực.

Ưu điểm

- Giảm hỏng đột ngột.
- Dễ lập kế hoạch nhân lực & phụ tùng.
- Phù hợp chi tiết hao mòn theo quy luật.

Nhược điểm

- **Có thể bảo trì thừa.**
- Vẫn sót lỗi giữa hai kỳ.
- Tháo lắp nhiều dễ sinh lỗi mới.
- Chi phí định kỳ cao.

Bảo trì theo tình trạng (CBM)

Condition-Based Maintenance: can thiệp dựa trên tình trạng thực đo được, không theo lịch.

CBM là gì: Bảo trì theo tình trạng giám sát một (vài) thông số (rung động, nhiệt độ, dầu...) và chỉ can thiệp khi thông số vượt ngưỡng — đây chính là nền tảng của khoá học.

Theo tình trạng (CBM)

- **Hành động khi thông số vượt ngưỡng.**
- Dựa trên giá trị đo hiện tại của máy.
- Rung động là thông số chính cho máy quay.
- Đo định kỳ hoặc liên tục (online).

Dự đoán (PdM) — bước phát triển

- **CBM + phân tích xu hướng/mô hình/AI.**
- Dự báo thời điểm hỏng (tuổi thọ còn lại – RUL).
- Lên kế hoạch sửa chữa trước khi hỏng.
- Cùng dựa trên dữ liệu giám sát tình trạng.

Bảo trì dự báo (Predictive / CBM)

Quyết định dựa trên tình trạng thực đo được — chủ yếu là rung động.

Ưu điểm

- **Can thiệp đúng lúc, đúng chi tiết.**
- Tối ưu chi phí & độ sẵn sàng.
- Phát hiện sớm, kế hoạch chủ động.
- Tránh bảo trì thừa & hỏng đột ngột.

Yêu cầu

- Cần thiết bị đo & kỹ năng phân tích.
- Cần baseline & ngưỡng.
- Đầu tư ban đầu cho cảm biến.
- Là trọng tâm khoá học.

So sánh các chiến lược bảo trì

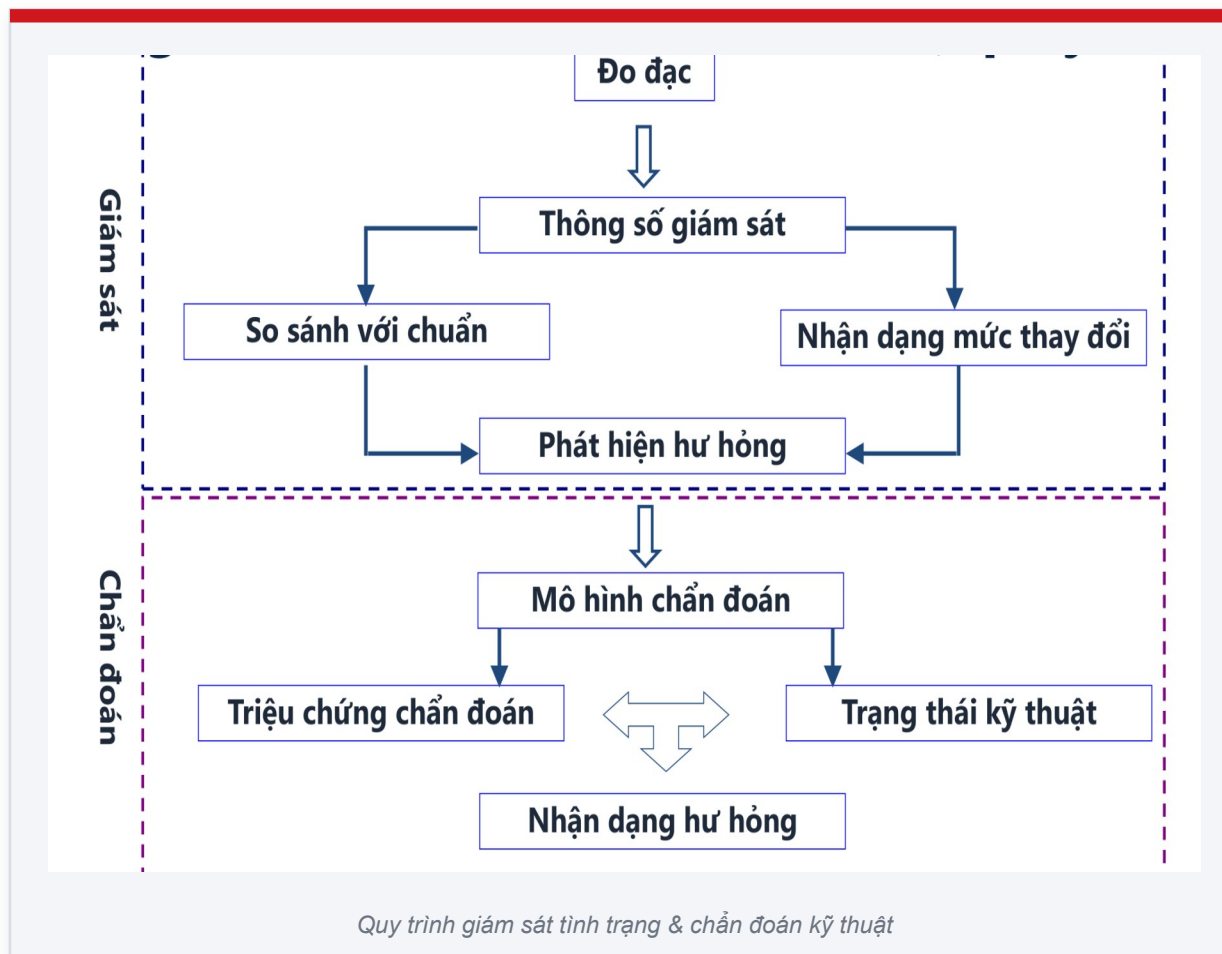
Tiêu chí	Phản ứng -Run-to-Failure	Phòng ngừa- PM	Theo tình trạng -CBM	Dự đoán - PdM
Thời điểm sửa	Sau khi hỏng	Theo lịch	Khi vượt ngưỡng	Trước khi hỏng
Cơ sở quyết định	Không có	Thời gian	Tình trạng hiện tại	Xu hướng/dự báo
Hỏng đột ngột	Cao	Trung bình	Thấp	Rất thấp
Chi phí tổng	Cao	Trung bình	Thấp	Thấp nhất
Lập kế hoạch	Không thể	Dễ	Khá	Chính xác

Ghi chú: CBM (theo tình trạng) và PdM (dự đoán) đều dựa trên giám sát rung động; PdM là bước phát triển của CBM nhờ phân tích xu hướng & dự báo.

Quy trình giám sát & chẩn đoán

Vòng lặp đo – so chuẩn – nhận dạng – chẩn đoán.

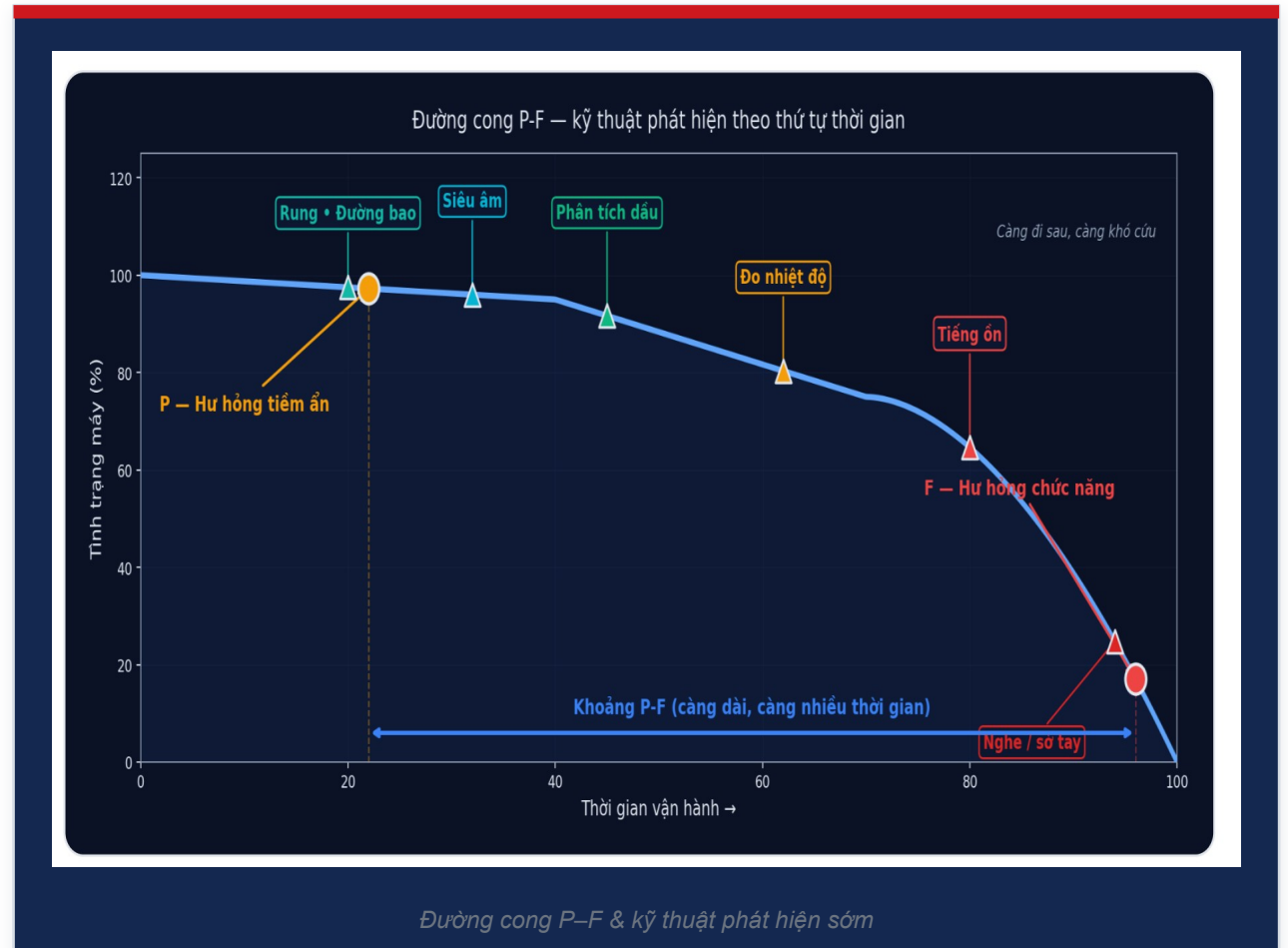
- **Đo đạc** → **thông số giám sát**.
- So sánh với chuẩn / nhận dạng mức thay đổi.
- Phát hiện hư hỏng → mô hình chẩn đoán.
- Từ triệu chứng → kết luận trạng thái kỹ thuật.



Đường cong P-F

Khoảng từ phát hiện (P) đến hư hỏng (F) quyết định thời gian xử lý.

- **P: dấu hiệu hư hỏng đầu tiên; F: hư hỏng thực sự.**
- Rung động phát hiện rất sớm trên đường cong.
- P-F càng dài → càng nhiều thời gian xử lý.
- Mục tiêu giám sát: tối đa hoá cảnh báo sớm.



Hiệu quả thực tế của giám sát

Số cảnh báo rung giảm dần sau khi triển khai giám sát.



Giảm chi phí

Bảo trì & sửa chữa giảm mạnh.



Tăng độ sẵn sàng

Ít dừng máy ngoài kế hoạch.



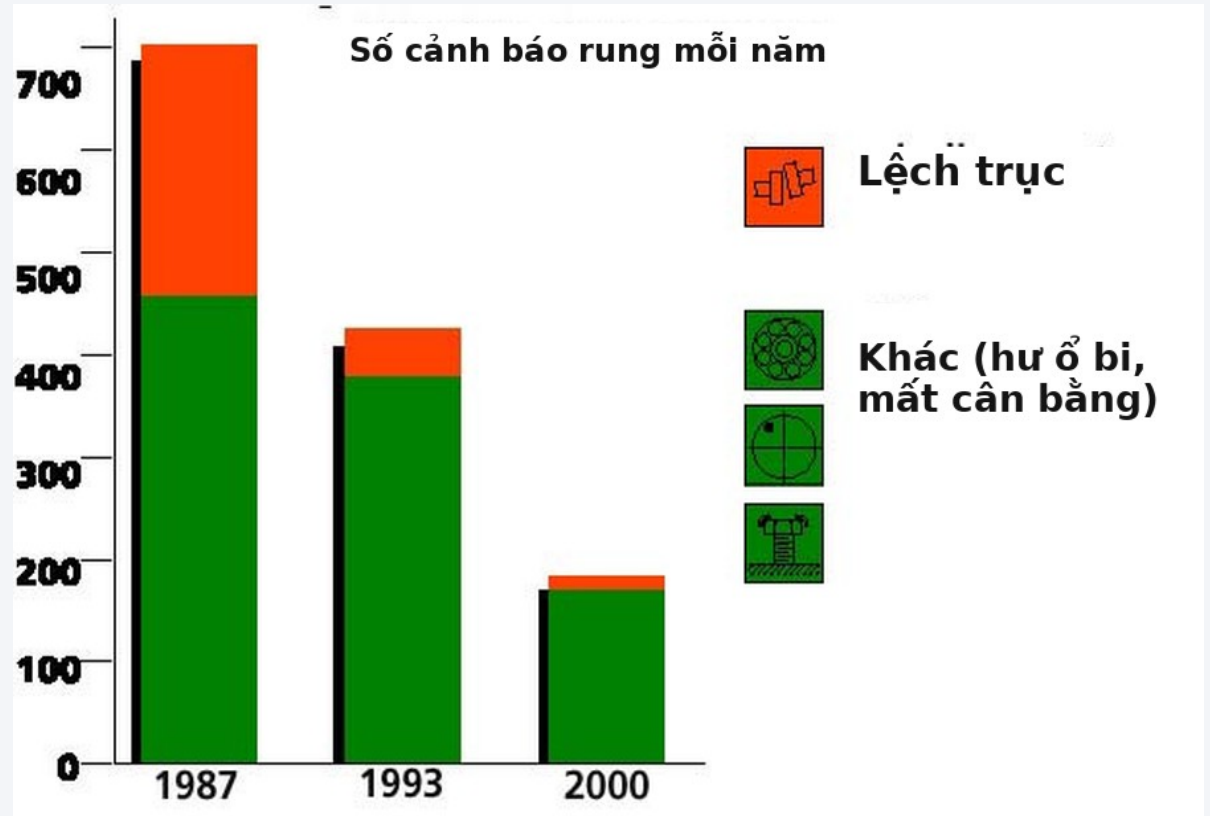
An toàn hơn

Phát hiện sớm, tránh sự cố.



Năng suất cao hơn

Sản xuất ổn định.

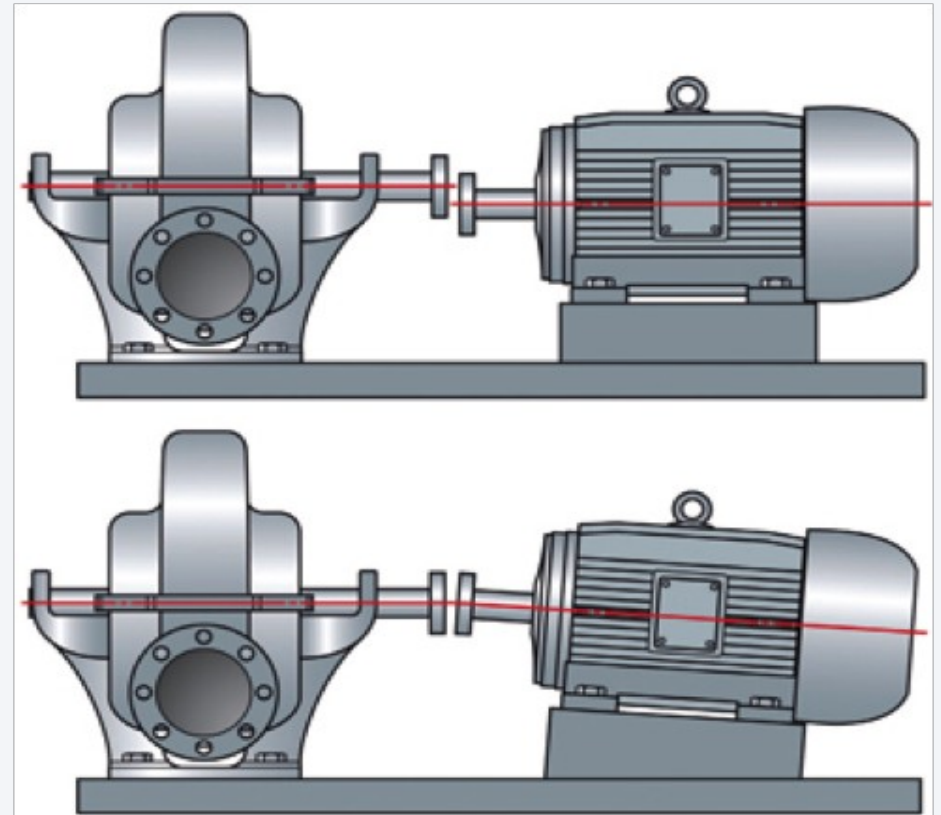


Số cảnh báo rung giảm theo năm (nguồn: PRÜFTECHNIK)

Ứng dụng: phát hiện mất cân bằng

Mất cân bằng do tích tụ bám bẩn, ăn mòn cánh.

- **Bám bụi/bẩn không đều** → lệch tâm khối lượng.
- Ăn mòn, bong tróc cánh quạt/bơm theo thời gian.
- Rung 1× tăng dần — phát hiện qua giám sát.
- Khắc phục: vệ sinh, cân bằng lại rotor.

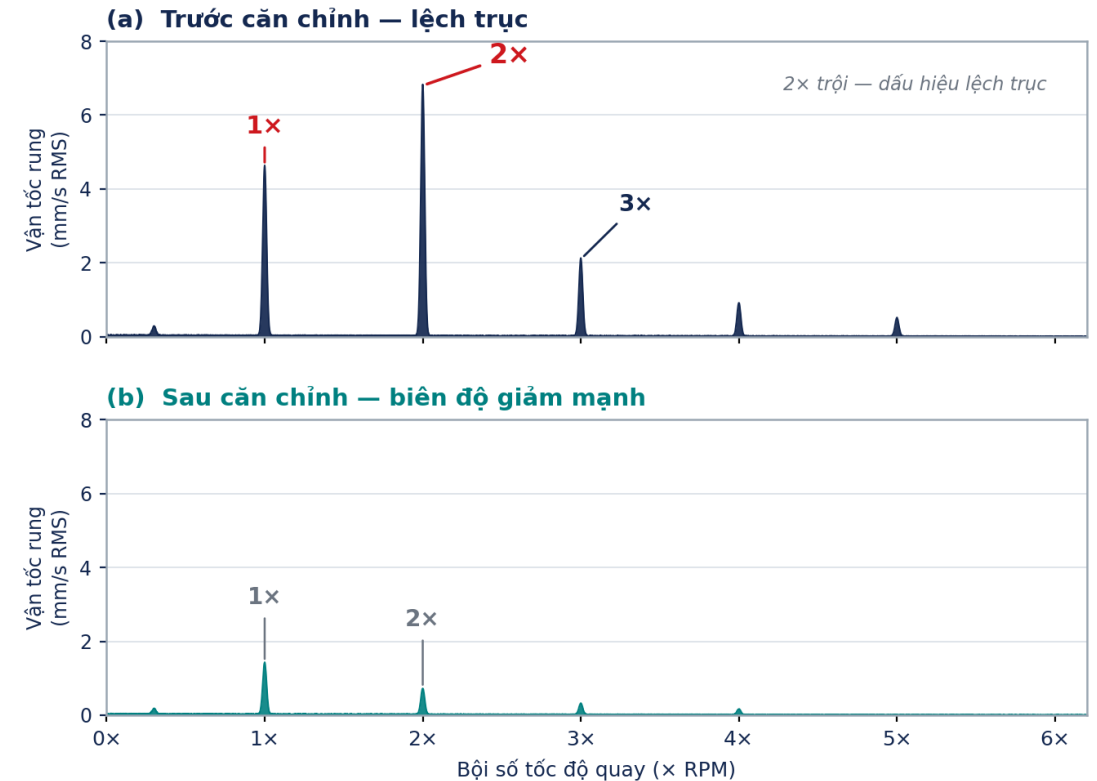


Nhóm sự cố mất cân bằng rô-tô

Ứng dụng: lệch trục & căn chỉnh

Căn chỉnh trục là một trong các tác động hiệu quả nhất.

- **Lệch trục làm tăng rung và tải lên ổ đỡ.**
- Chữ ký phổ: 1× & 2× trội — 2× thường lớn nhất.
- Lệch góc: rung dọc trục cao; lệch song song: rung hướng kính 2× cao.
- Căn chỉnh chính xác kéo dài tuổi thọ ổ & khớp nối, giảm rung tổng và năng lượng.



Phổ rung điển hình khi lệch trục — trước & sau căn chỉnh (1× & 2× trội)

Tác động đến năng suất & OEE



Độ sẵn sàng

Giảm dừng máy ngoài kế hoạch.



Hiệu suất

Máy chạy ổn định, đúng tốc độ.



Chất lượng

Giảm sản phẩm lỗi do rung.

OEE = Độ sẵn sàng × Hiệu suất × Chất lượng. Giám sát rung cải thiện đồng thời cả ba yếu tố.

Tổng kết Phần 1

- **Máy quay là cốt lõi sản xuất; tình trạng của chúng quyết định năng suất & an toàn.**
- Rung động là dao động quanh vị trí cân bằng do các lực lặp lại trong máy.
- Không giám sát → hư hỏng âm thầm → dừng máy đột ngột, chi phí & rủi ro lớn.
- Bốn nấc bảo trì: phản ứng → phòng ngừa → dự đoán → tiên liệu.
- Giám sát rung mang lại ROI rõ rệt: giảm chi phí, tăng OEE, an toàn hơn.

Câu hỏi ôn tập Phần 1

1 Nguồn rung

Kể tên 5 nguyên nhân chính gây rung ở máy quay.

2 Chiến lược

So sánh bảo trì phòng ngừa và dự đoán.

3 Hậu quả

Nêu các chi phí ẩn khi máy dừng đột ngột.

4 P–F

Ý nghĩa của đường cong P–F trong giám sát?

Phần 2

Hệ thống giám sát tình trạng thiết bị

Condition Monitoring (CM): cảm biến, thu thập – xử lý tín hiệu và tiêu chuẩn đánh giá

CM & thông số

Cảm biến rung

Thu thập & xử lý tín hiệu

Kiến trúc & triển khai

Tiêu chuẩn ISO

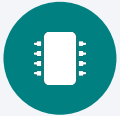
Công nghiệp 4.0

Mục tiêu của Phần 2



Hiểu khái niệm CM

Giám sát tình trạng và quy trình chẩn đoán.



Cảm biến rung

Loại cảm biến, dải tần, cách lắp đặt.



Thu thập – xử lý tín hiệu

Phân đoạn, Fmax, cửa sổ, TSA, trích đặc trưng.



Triển khai & đánh giá

Kiến trúc, ISO 10816, hướng tới CN 4.0.

Giám sát tình trạng (CM) là gì?

Định nghĩa: CM là quá trình đo & theo dõi các thông số phản ánh tình trạng máy, nhằm phát hiện và chẩn đoán hư hỏng trước khi gây sự cố.



Phát hiện sớm

Nhận biết lỗi từ giai đoạn manh nha.



Chẩn đoán

Xác định loại & vị trí hư hỏng.



Dự báo

Ước lượng tuổi thọ còn lại (RUL).



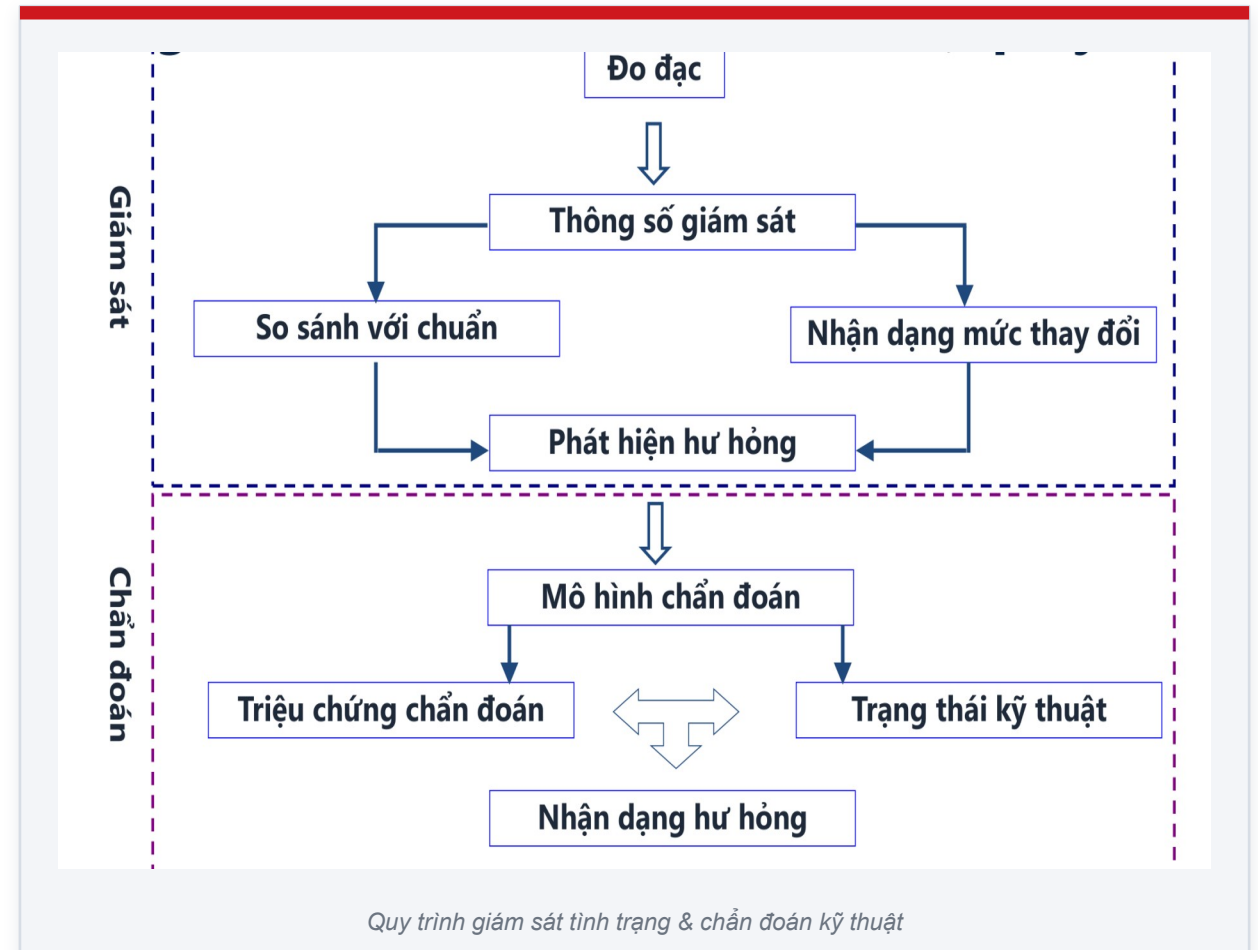
Lập kế hoạch

Bảo trì đúng lúc, đúng việc.

Quy trình giám sát & chẩn đoán

Vòng lặp đo – so chuẩn – nhận dạng – chẩn đoán.

- **Đo đạc** → **thông số giám sát**.
- So sánh với chuẩn / nhận dạng mức thay đổi.
- Phát hiện hư hỏng → mô hình chẩn đoán.
- Từ triệu chứng → kết luận trạng thái kỹ thuật.



Các thông số giám sát tình trạng

Rung động là thông số mạnh nhất cho máy quay.



Rung động

Phát hiện sớm, định vị & phân loại lỗi.



Nhiệt độ

Ma sát, quá tải, bôi trơn kém.



Phân tích dầu

Hạt mài mòn cho biết cơ chế hư.



Dòng điện (MCSA)

Lỗi cơ–điện trong mô tơ.



Siêu âm/âm thanh

Rò rỉ, phóng điện, hư ổ sớm.



Thông số vận hành

Áp suất, lưu lượng, tốc độ (nền).

Các loại cảm biến rung

Ba loại cảm biến chính, mỗi loại phù hợp một dải tần.



Đầu dò khe hở

Đo chuyển vị trực.

- Tần số rất thấp.
- Cho ổ trượt, turbine.



Cảm biến vận tốc

Đo vận tốc rung.

- Dải tần trung.
- Bền, đo tại chỗ.



Gia tốc kế

Đo gia tốc.

- Dải tần rộng nhất.
- Phổ biến nhất.

Dải tần & cách chọn cảm biến

Đại lượng	Dải tần phù hợp	Lỗi điển hình
Chuyển vị	< 10 Hz	Chuyển động trực, ổ trượt
Vận tốc	10 Hz – 1–2 kHz	Mất cân bằng, lệch trục, lỏng
Gia tốc	> 1 kHz	Ổ bị, bánh răng, va đập

Mặc định: Vận tốc RMS (mm/s) là đại lượng tổng quát nhất, cơ sở đánh giá theo ISO 10816.

2.2 · CẢM BIẾN RUNG

Lắp đặt cảm biến đúng cách

Vị trí & cách gắn quyết định chất lượng tín hiệu.



Gắn tại nguồn rung

Càng gần ổ đỡ càng tốt.



Tiếp xúc cứng vững

Bắt ren/đế từ chắc; tránh tấm mỏng.



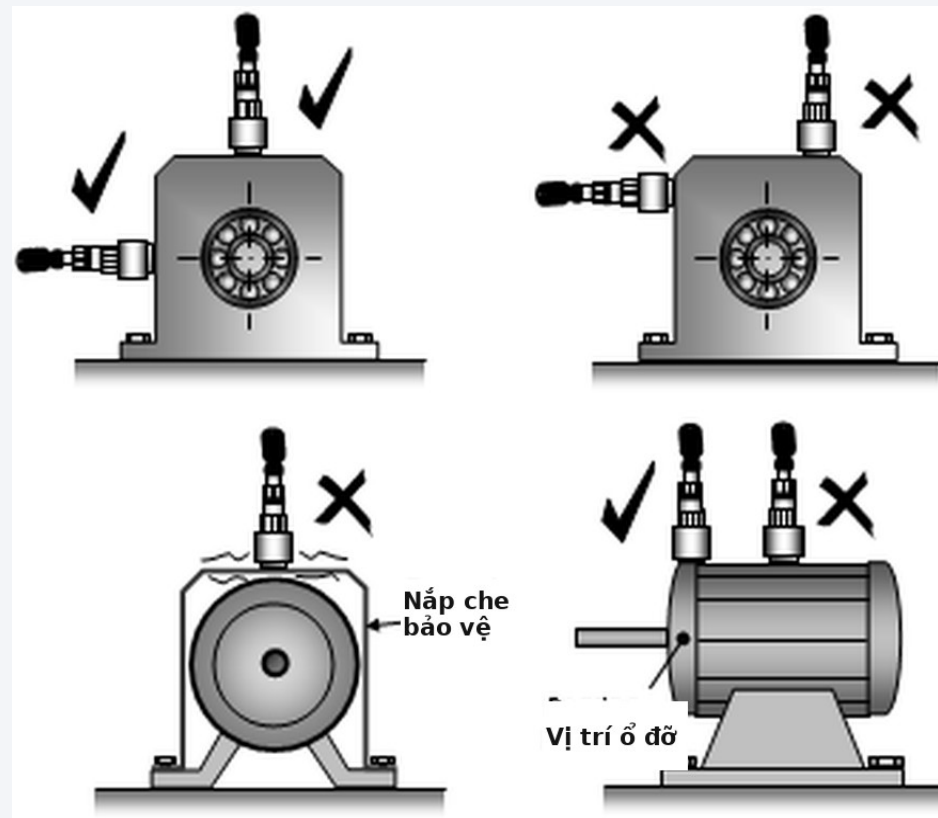
Lắp lại vị trí

Đo cùng điểm mỗi lần.



Đủ ba phương

Kính ngang/đứng & dọc trục.



Vị trí & cách gắn đúng/sai (nguồn: Commtest)

Thiết bị đo cầm tay (đi tuyến)

Thu thập rung định kỳ theo tuyến cho phần lớn máy.

- Đo nhanh tại nhiều điểm theo lộ trình định sẵn.
- Lưu dữ liệu, tải về phần mềm phân tích & lập xu hướng.
- Linh hoạt, chi phí thấp cho máy không tới hạn.
- Phụ thuộc tần suất đi đo của kỹ thuật viên.

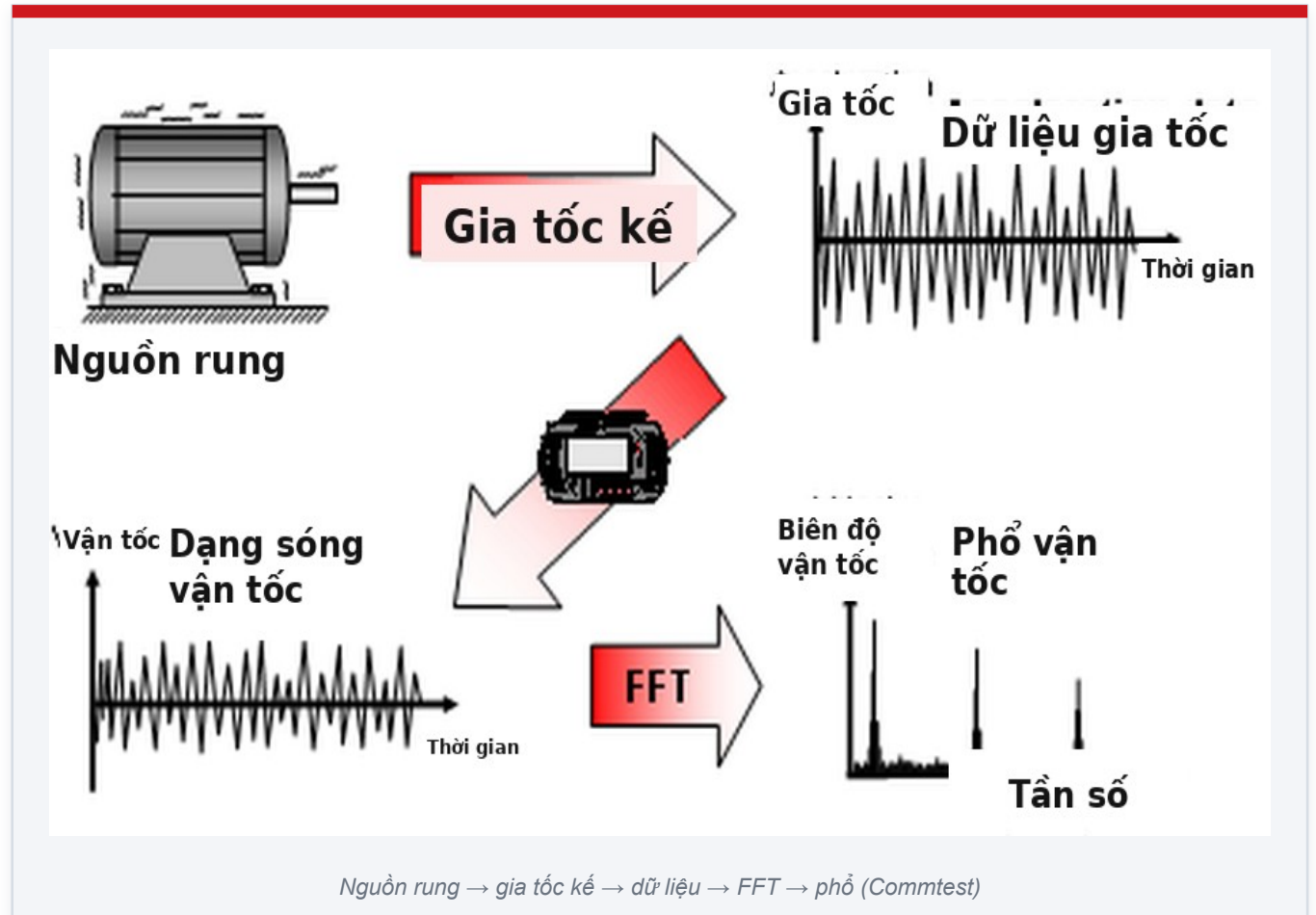


Máy đo rung cầm tay

Chuỗi đo: từ cảm biến đến phổ

Tín hiệu rung được số hoá rồi biến đổi FFT thành phổ.

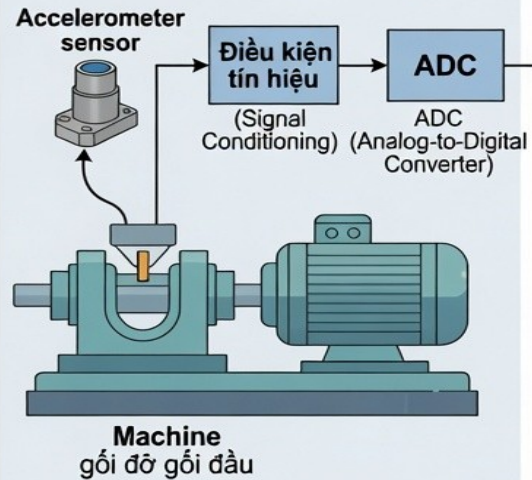
- Cảm biến → khuếch đại → số hoá (ADC) → xử lý.
- Tích phân gia tốc → vận tốc → chuyển vị khi cần.
- FFT biến dạng sóng theo thời gian thành phổ.
- Mỗi đỉnh phổ là một thành phần rung.



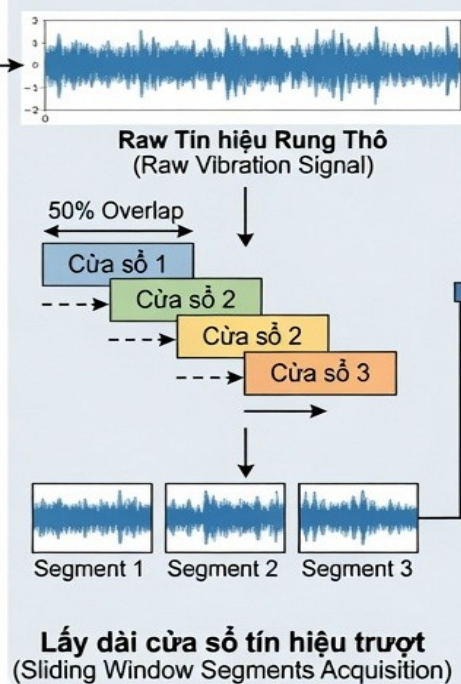
Sơ đồ xử lý tín hiệu

Bốn bước: thu thập – phân đoạn – phân tích – trích đặc trưng.

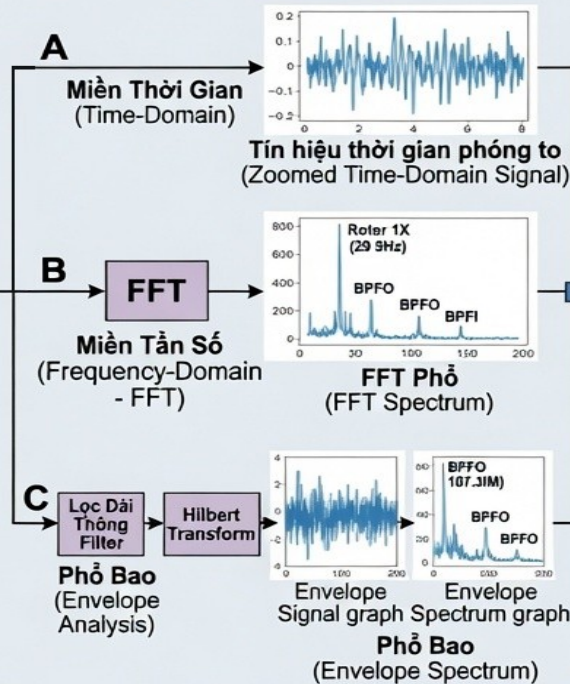
1. Thu thập dữ liệu từ cảm biến (Data Acquisition)



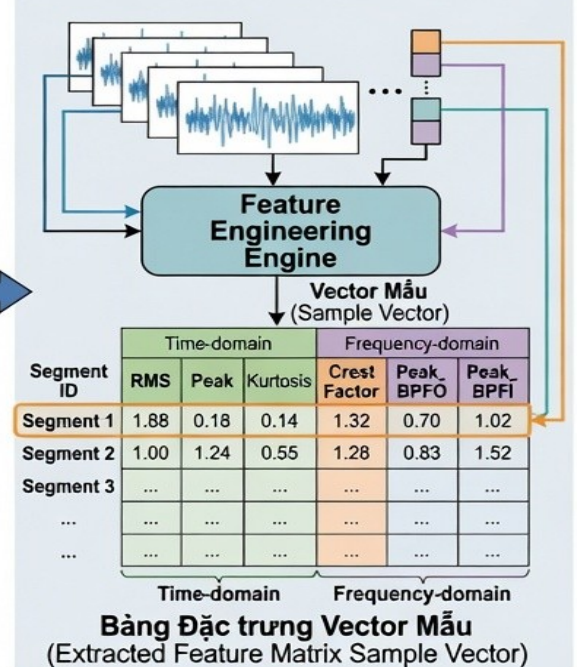
2. Phân đoạn + Overlap (Segmentation + Overlap)



3. Phân tích tín hiệu (Signal Analysis)



4. Trích xuất đặc trưng (Feature Extraction)



Quy trình: Thu thập dữ liệu · Phân đoạn · Phân tích tín hiệu · Trích xuất đặc trưng

Số hoá tín hiệu: Fmax & Nyquist

Định lý lấy mẫu quy định dải tần phân tích được.

$$f_s \geq 2 \cdot F_{\max}$$

Định lý Nyquist – Shannon

$$F_{\max}$$

Tần số lớn nhất cần phân tích

$$f_s = 2,56 \cdot F_{\max}$$

Hệ số thực tế (chống aliasing)

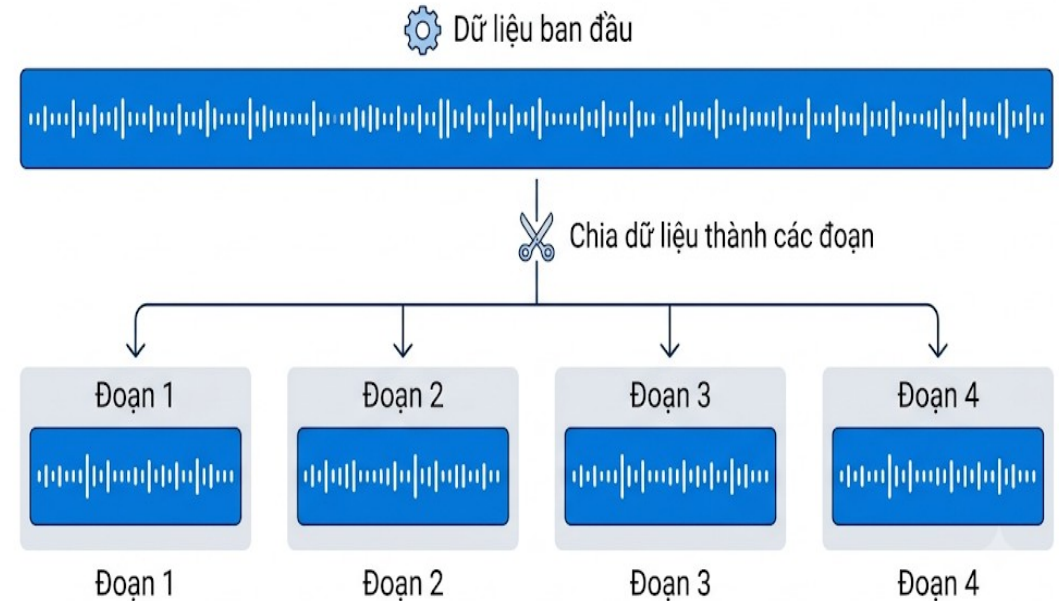
- **Đặt $F_{\max}$ đủ cao để bao trùm tần số lỗi quan tâm.**
- $f_s \geq 2 \cdot F_{\max}$ để tránh chồng phổ (aliasing).
- Dùng bộ lọc chống aliasing trước khi số hoá.

Phân đoạn tín hiệu

Chia dữ liệu thành các đoạn để phân tích và lấy trung bình.

- **Dữ liệu dài được chia thành nhiều đoạn.**
- Cho phép lấy trung bình giảm nhiễu ngẫu nhiên.
- Có thể chồng lấn (overlap) để tận dụng dữ liệu.
- Độ dài đoạn ảnh hưởng độ phân giải tần số.

Sơ đồ chia dữ liệu thành các đoạn



Sơ đồ chia dữ liệu thành các đoạn

Tham số đặc trưng miền thời gian

Các chỉ số rút gọn tính trực tiếp từ dạng sóng.

- **RMS: năng lượng rung tổng.**
- Peak & Peak–Peak: giá trị đỉnh.
- Crest factor & Kurtosis: nhạy với xung và đập.
- Phương sai, độ lệch chuẩn, hệ số lệch...

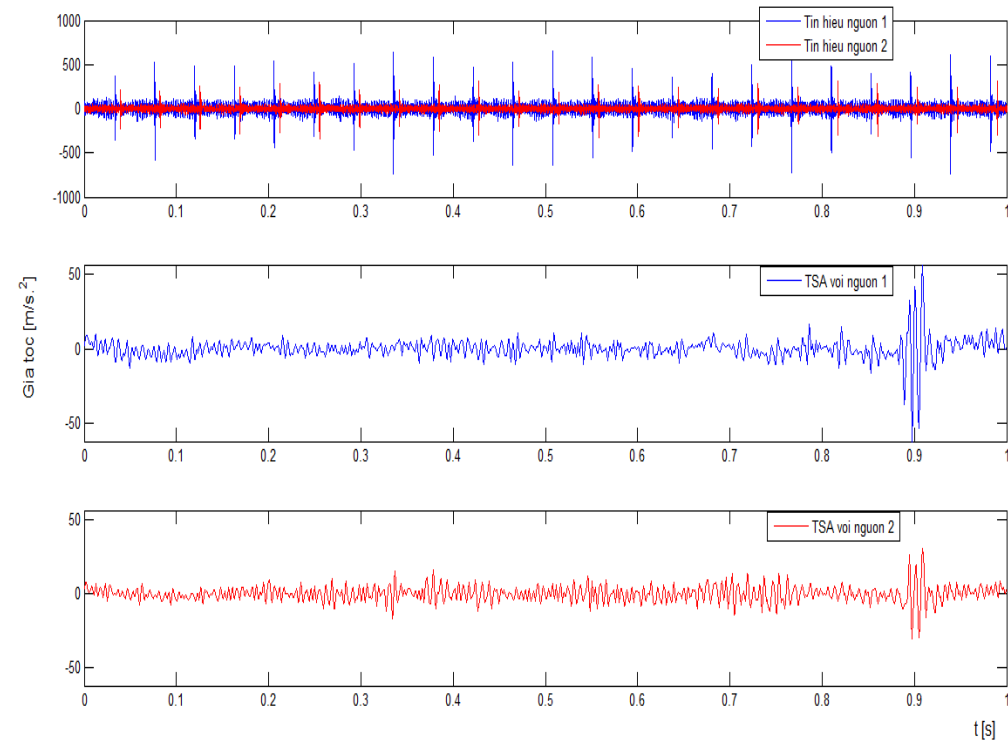
Giá trị	Tín hiệu liên tục	Tín hiệu số
Giá trị trung bình (mean)	$\bar{x} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$	$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x[n]$
Giá trị trung bình hiệu dụng (root mean square - RMS)	$\tilde{x} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x(t)^2 dt}$	$\tilde{x} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x[n])^2}$
Giá trị đỉnh dương (maximum)	$x_{p+} = \max(x(t))$	$x_{p+} = \max(x[n])$
Giá trị đỉnh âm (minimum)	$x_{p-} = \min(x(t))$	$x_{p-} = \min(x[n])$
Giá trị đỉnh kép (peak to peak)	$x_{p-p} = x_{p+} - x_{p-}$	$x_{p-p} = x_{p+} - x_{p-}$
Hệ số Crest (Crest factor)	$C_r = \frac{x_{p-p}}{\tilde{x}}$	$C_r = \frac{x_{p-p}}{\tilde{x}}$
Phương sai	$\sigma_x^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (x(t) - \bar{x})^2 dt$	$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x[n] - \bar{x})^2$
Độ lệch chuẩn	σ_x	σ_x
Hệ số lệch	$\gamma_x = \frac{1}{\sigma_x^3} \int_0^T (x(t) - \bar{x})^3 dt$	$\gamma_x = \frac{1}{\sigma_x^3} \sum_{n=1}^N (x[n] - \bar{x})^3$
Hệ số Kurtosis (Kurtosis factor)	$\beta_x = \frac{1}{\sigma_x^4} \int_0^T (x(t) - \bar{x})^4 dt$	$\beta_x = \frac{1}{\sigma_x^4} \sum_{n=1}^N (x[n] - \bar{x})^4$

Tham số đặc trưng trong miền thời gian

Trung bình hoá đồng bộ (TSA)

Kỹ thuật làm nổi tín hiệu lặp lại theo vòng quay.

- Đồng bộ tín hiệu với một xung mốc vòng quay.
- Trung bình nhiều vòng → giữ thành phần đồng bộ.
- Loại bỏ thành phần ngẫu nhiên/không đồng bộ.
- Rất hữu ích cho chẩn đoán hộp số (bánh răng).



Kỹ thuật trung bình hoá tín hiệu đồng bộ (TSA)

Chọn kích thước cửa sổ FFT

Cân bằng giữa tốc độ tính, độ phân giải và độ rò rỉ phổ.

- Chọn N là lũy thừa của 2 để FFT hiệu quả.
- Bảo đảm độ phân giải tần số đủ tách các đỉnh.
- N quá nhỏ → đỉnh chồng lấp; N quá lớn → mất tính dừng.
- Dùng cửa sổ Hanning giảm rò rỉ phổ (leakage).

Cơ sở lựa chọn kích thước cửa sổ (N=4096)

❑ **Tối ưu tốc độ tính toán:** Chọn kích thước cửa sổ là lũy thừa của 2 ($N = 2^k$) giúp thuật toán FFT đạt hiệu năng tính toán cao nhất

❑ **Đảm bảo độ phân giải tần số:**

$$\Delta f = \frac{f_s}{N} = \frac{48,000}{4096} = 11,71 \text{ Hz}$$

Độ phân giải này đủ để phân tách các tần số lỗi

❑ **Đảm bảo tính dừng:**

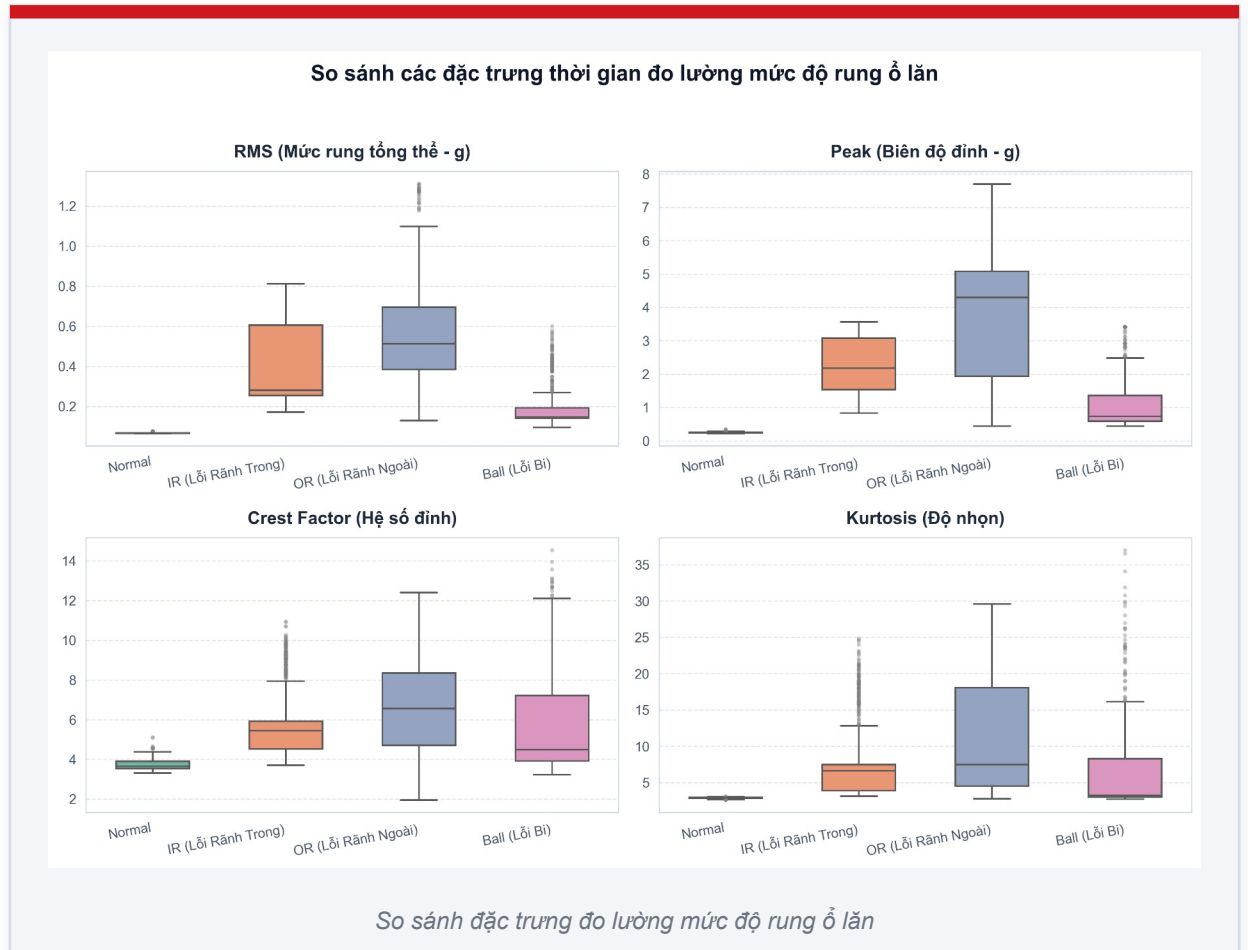
- Nếu N quá nhỏ: Phổ bị nhòe, các tần số lỗi bị chồng lấp.
- Nếu N quá lớn: Tín hiệu mất tính dừng cục bộ, giảm số lượng mẫu.

Cơ sở lựa chọn kích thước cửa sổ (N=4096)

Trích xuất & so sánh đặc trưng

So sánh các đặc trưng giúp phân biệt trạng thái ổ lăn.

- **RMS, Peak, Crest Factor, Kurtosis** theo trạng thái.
- Đặc trưng tốt phải tách rõ các trạng thái hư hỏng.
- Là đầu vào cho thuật toán phân loại (ML).
- Kết hợp nhiều đặc trưng cho độ tin cậy cao.



Kiến trúc hệ thống giám sát

1 Cảm biến

Gia tốc kế... gắn tại ổ đỡ.

2 Thu thập (DAQ)

Số hoá, F_{max} , vạch phổ, trung bình.

3 Phân tích

FFT, so chuẩn, xu hướng, chế độ lỗi.

4 Cảnh báo

Ngưỡng alarm/danger; thông báo.

5 Quyết định

Lập kế hoạch, đặt phụ tùng, sửa.

Giám sát Online & Offline



Online (cố định)

Cảm biến gắn cố định, giám sát 24/7.

- Cho máy tới hạn.
- Cảnh báo thời gian thực.
- Chi phí lắp đặt cao hơn.



Offline (đi tuyến)

Đo định kỳ bằng máy cầm tay.

- Cho phần lớn máy thường.
- Linh hoạt, chi phí thấp.
- Phụ thuộc tần suất đo.

Mức nền, ngưỡng & xu hướng

Theo dõi thay đổi theo thời gian quan trọng hơn một giá trị đơn lẻ.

- **Baseline:** mức rung khi máy ở trạng thái tốt.
- Ngưỡng cảnh báo (alarm) → lập kế hoạch kiểm tra.
- Ngưỡng báo động (danger) → can thiệp ngay.
- Tốc độ tăng của rung cho biết mức độ khẩn cấp.
- So sánh giữa các máy giống nhau để phát hiện máy bất thường.

ISO 10816 / 20816

Đánh giá mức rung tổng (vận tốc RMS) theo bốn vùng tình trạng.



Vùng A

Máy mới — rung thấp, tốt.



Vùng B

Chấp nhận vận hành dài hạn.



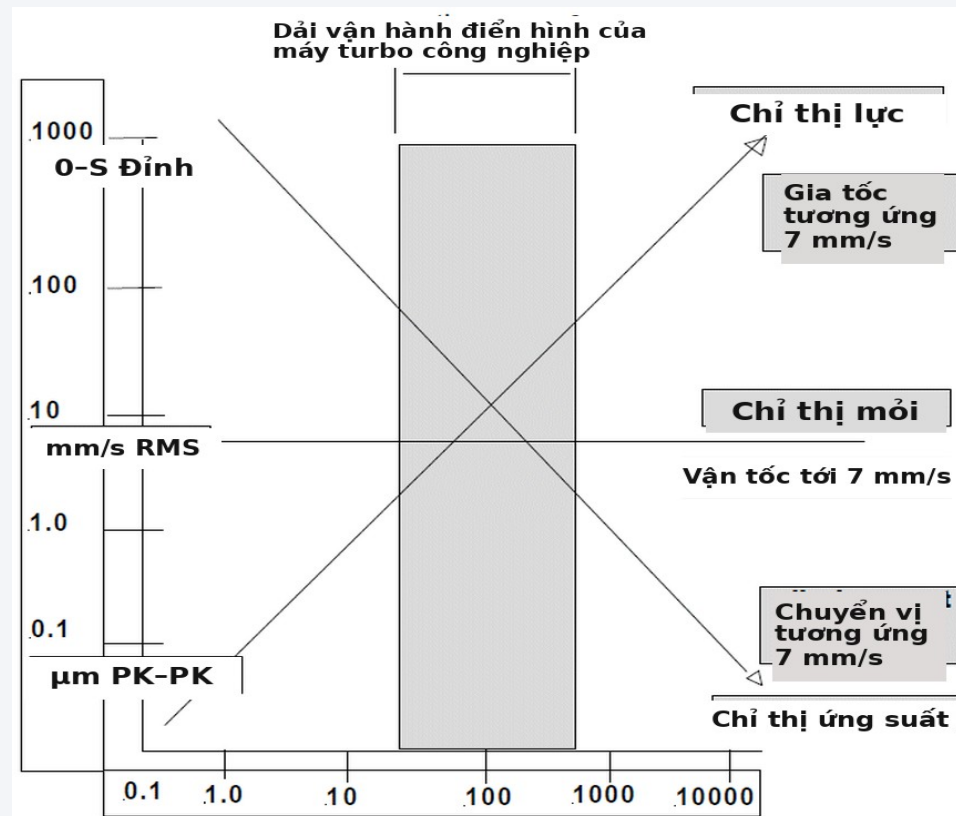
Vùng C

Không thoả mãn dài hạn.



Vùng D

Nguy hiểm — cần dừng máy.



Chọn đại lượng đo theo dải tần (PRÜFTECHNIK)

Bốn vùng đánh giá theo ISO 10816

Vùng	Ý nghĩa	Hành động
A	Máy mới đưa vào vận hành	Tốt — duy trì theo dõi
B	Chấp nhận vận hành dài hạn	Bình thường
C	Không thoả mãn dài hạn	Lập kế hoạch khắc phục
D	Đủ gây hư hỏng	Dừng máy / can thiệp ngay

Lưu ý: Ngưỡng cụ thể (mm/s) phụ thuộc nhóm máy, công suất và kiểu bộ đỡ (cứng/mềm).

CM trong Công nghiệp 4.0



Cảm biến IIoT

Cảm biến rung không dây, số lượng lớn.



Đám mây & dữ liệu lớn

Lưu trữ & tổng hợp dữ liệu dài hạn.



AI / Học máy

Tự nhận diện lỗi, dự báo hư hỏng.



Song sinh số

Digital twin mô phỏng & tối ưu.

Tổng kết Phần 2

- CM theo dõi 'sức khỏe' máy để phát hiện hư hỏng sớm và lập kế hoạch.
- Gia tốc kế là cảm biến phổ biến nhất; lắp đúng vị trí là then chốt.
- Xử lý tín hiệu: phân đoạn → tham số thời gian → TSA → cửa sổ/FFT → đặc trưng.
- Kiến trúc CM: cảm biến → thu thập → phân tích → cảnh báo → quyết định.
- Đánh giá theo ISO 10816 (vùng A–D); nền tảng cho Công nghiệp 4.0.

Câu hỏi ôn tập Phần 2

1 Cảm biến

So sánh ba loại cảm biến rung và dải tần.

2 F_{max}

Vì sao $f_s \geq 2 \cdot F_{max}$? Aliasing là gì?

3 TSA

Trung bình đồng bộ dùng để làm gì?

4 ISO 10816

Ý nghĩa và hành động cho từng vùng A–D?

Phần 3

Vật lý & mô tả dao động máy quay

Lý thuyết rung động — Phần 1: bản chất vật lý và các đại lượng đặc trưng

Bản chất vật lý

Biên độ – tần số – pha

Chuyển vị–Vận tốc–Gia tốc

Dao động tự do & cộng hưởng

Miền thời gian $\leftrightarrow$ tần số

Mục tiêu của Tiết 3



Bản chất vật lý

Phương trình dao động, lò xo–khối lượng–giảm chấn.



Đại lượng đặc trưng

Biên độ, tần số, chu kỳ, pha; D–V–A.



Tần số tự nhiên & cộng hưởng

Dao động tự do, cộng hưởng, tốc độ tới hạn.



Miền thời gian ↔ tần số

FFT và cách đọc phổ rung.

Bản chất vật lý của dao động cơ học

Nguyên lý: Dao động quanh vị trí cân bằng do tương tác lực kích thích & đáp ứng hệ

Phương trình rung động

$$m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + k \cdot x = F(t)$$

x : dịch chuyển · $\dot{x}$: vận tốc · $\ddot{x}$: gia tốc

k : độ cứng · c : giảm chấn · m : khối lượng

Tần số riêng: $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$

ĐÁP ỨNG PHỤ THUỘC GÌ?

- **Khối lượng m** : Quán tính của hệ thống
- **Độ cứng k** : Khả năng chống biến dạng đàn hồi
- **Giảm chấn c** : Khả năng tiêu tán năng lượng dao động
- **Lực kích thích $F(t)$** : Biên độ & Tần số lực kích ngoài

HIỆN TƯỢNG CỘNG HƯỞNG:

Xảy ra khi tần số kích thích $\approx$ Tần số riêng ω_n . Biên độ tăng vọt đột biến, nguy cơ phá hủy kết cấu rất cao.

Ba thông số đặc trưng của tín hiệu rung động

Mục đích: Lượng hóa độ nghiêm trọng, xác định nguồn gốc lỗi & quan hệ hình học

A 1. Biên độ (Amplitude)

- **Biên độ (Amplitude):** Lượng hóa độ nghiêm trọng (đo bằng Peak, Peak-to-Peak, RMS).

f 2. Tần số (Frequency)

- **Tần số (Frequency):** Chỉ thị nguồn gốc lỗi (mỗi tần số tương ứng một khuyết tật vật lý).

ϕ 3. Pha (Phase)

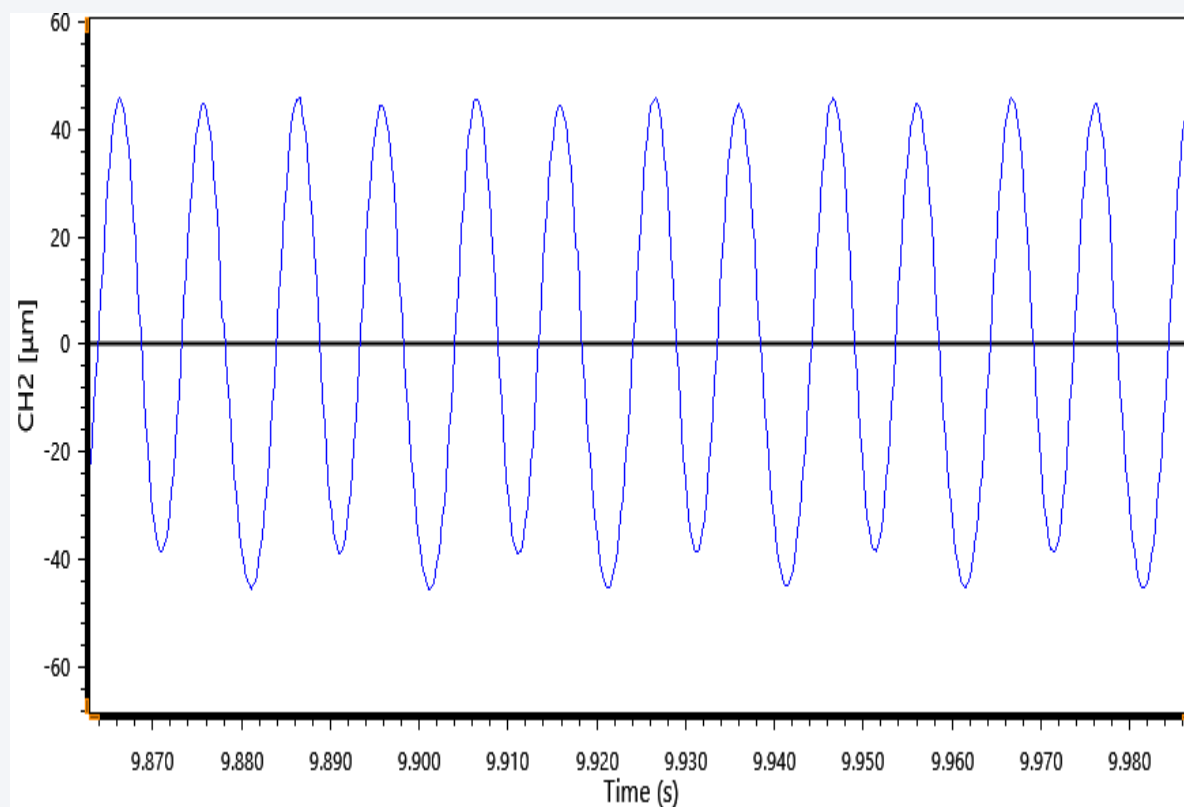
- **Pha (Phase):** Chỉ thị tương quan không gian (phân biệt các lỗi cùng tần số như lệch tâm vs mất cân bằng).

LƯU Ý: Một biên độ rung có thể do nhiều lỗi khác nhau. Cần kết hợp Tần số + Biên độ + Pha + Ngữ cảnh vận hành để chẩn đoán chính xác.

Dao động điều hoà

Dạng dao động cơ bản nhất.

- $x(t) = A \cdot \sin(2\pi f \cdot t + \varphi)$.
- Biên độ A: độ lớn dao động.
- Chu kỳ T: thời gian một dao động.
- Tần số $f = 1/T$ (Hz).
- Pha φ : vị trí góc tại thời điểm gốc.



Dao động hình sin theo thời gian

Biên độ – Chu kỳ – Tần số

$$f = 1/T$$

Tần số là nghịch đảo chu kỳ

$$\omega = 2\pi f$$

Tần số góc (rad/s)

$$T = 1/f$$

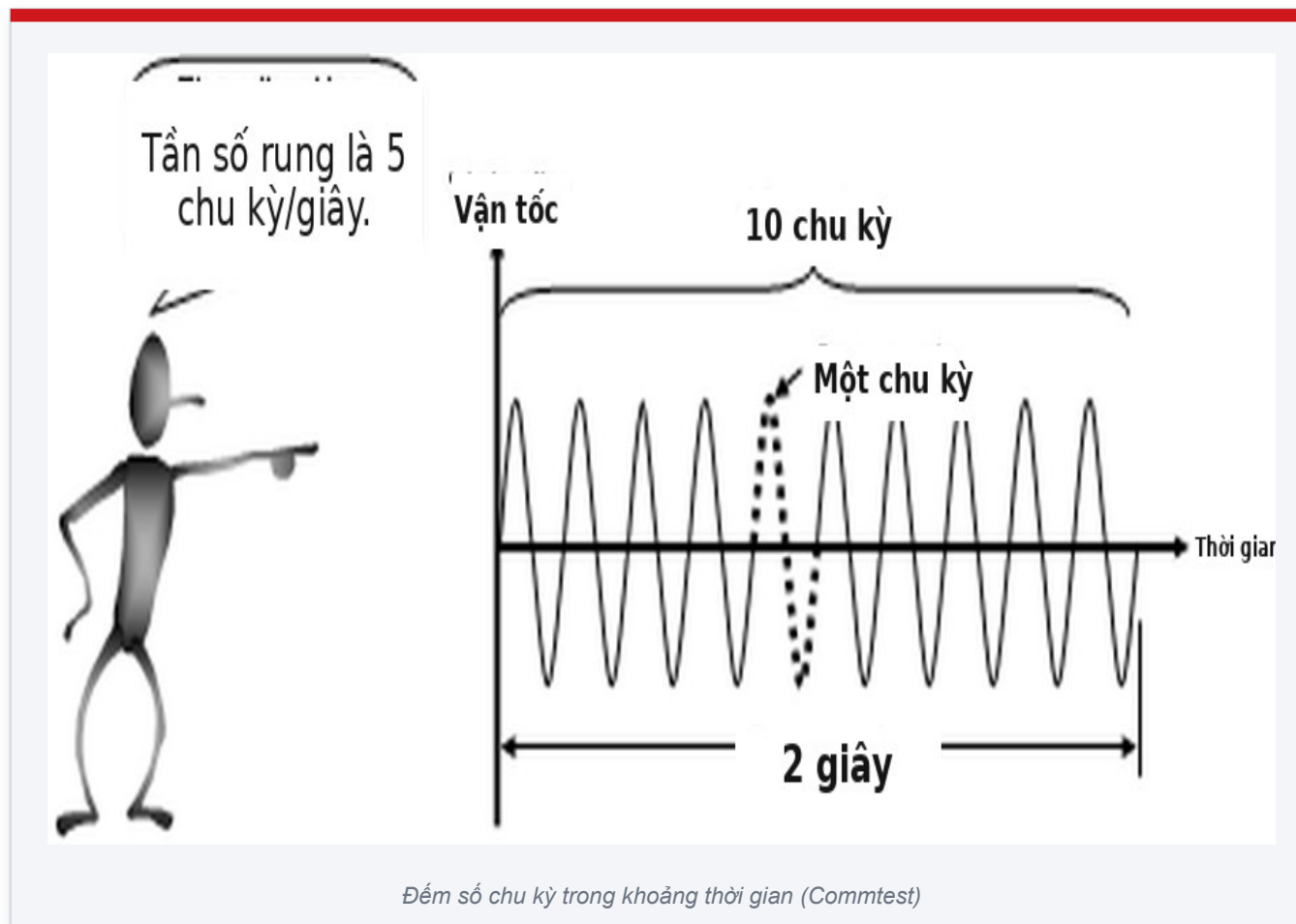
Chu kỳ (giây)

Ý nghĩa chẩn đoán: Biên độ cho biết 'mức độ nghiêm trọng', tần số cho biết 'nguồn gốc' của rung — chìa khoá của chẩn đoán.

Ví dụ: tần số rung là gì?

Tần số = số chu kỳ hoàn chỉnh trong một giây.

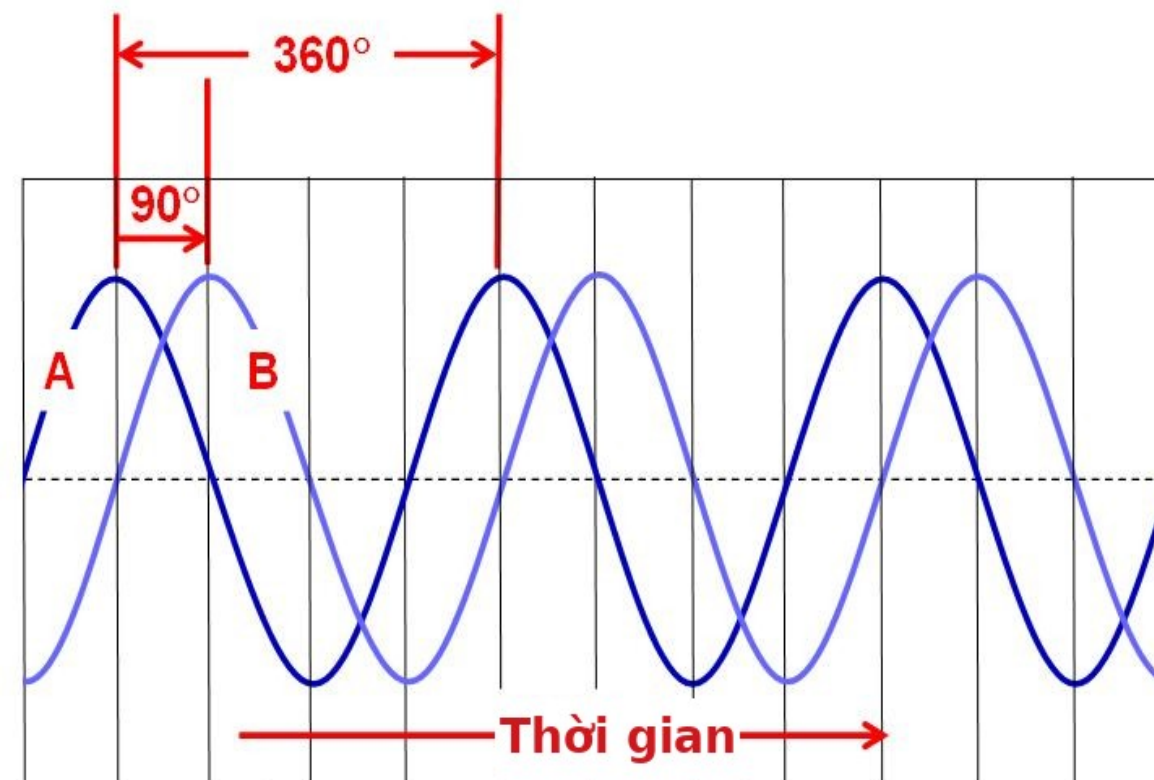
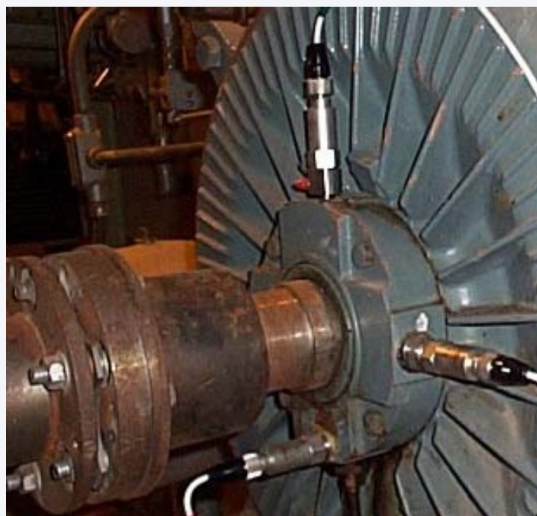
- Đếm 10 chu kỳ trong 2 giây $\rightarrow f = 5 \text{ Hz}$.
- Một chu kỳ = một dao động hoàn chỉnh.
- Chu kỳ T và tần số f là nghịch đảo.
- Máy quay nhanh $\rightarrow$ tần số cao.



Pha của dao động

Pha mô tả vị trí tương đối trong chu kỳ.

- Một chu kỳ tương ứng 360° .
- Đo bằng độ ($^\circ$), tham chiếu một xung mốc.
- Lệch pha giữa hai điểm đo giúp phân biệt lỗi.
- Cân bằng động dựa trên biên độ & pha của $1\times$.

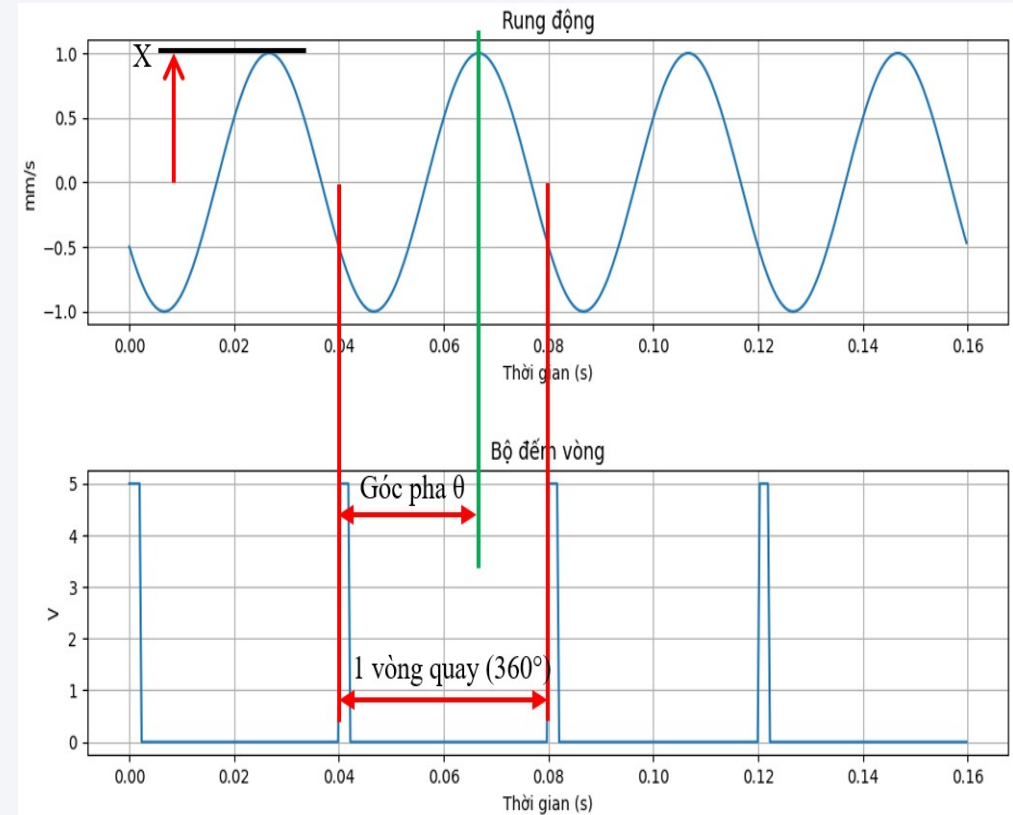
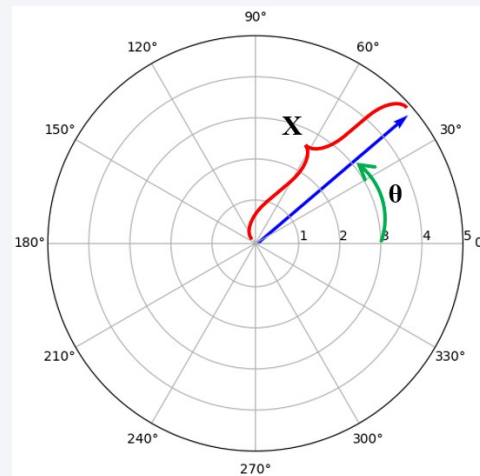
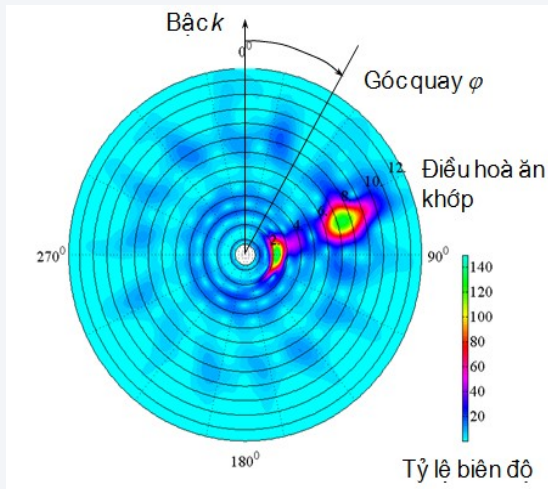


Hai tín hiệu A, B lệch pha 90°

Đo pha tham chiếu vòng quay

Một xung mốc (key-phasor) mỗi vòng làm gốc đo pha.

- Bộ đếm vòng phát một xung mốc mỗi vòng quay.
- Góc pha θ đo từ xung mốc đến đỉnh rung.
- Cho biết vị trí 'điểm nặng' khi cân bằng.
- Cần thiết cho cân bằng và phân tích pha.



Rung động & bộ đếm vòng — góc pha θ trong 1 vòng (360°)

Đơn vị tần số

Đơn vị	Ý nghĩa	Quy đổi
Hz	Chu kỳ mỗi giây (SI)	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ c/s}$
cpm	Chu kỳ mỗi phút	$1 \text{ Hz} = 60 \text{ cpm}$
RPM	Vòng quay mỗi phút	$1 \times = \text{RPM}/60 \text{ (Hz)}$
rad/s	Tần số góc	$\omega = 2\pi f$

Ví dụ: Máy 1500 RPM $\rightarrow 1 \times = 25 \text{ Hz} = 1500 \text{ cpm}$. Máy 3000 RPM $\rightarrow 1 \times = 50 \text{ Hz}$.

Bậc (orders) của tốc độ quay

Biểu diễn tần số theo bội số của tốc độ quay.



1× (bậc 1)

Bằng tốc độ quay — mất cân bằng.



2× (bậc 2)

Gấp đôi — lệch trục.



n× (hài)

Bội số nguyên — lỏng, va đập.



Không nguyên

Ví dụ ổ bi (BPFO $\approx 4,2\times$).

- **Biểu diễn theo bậc** → chữ ký lỗi không đổi dù máy đổi tốc độ.
- Thuận tiện so sánh giữa các máy có tốc độ khác nhau.
- Ví dụ: 1500 RPM → $1\times = 25$ Hz; 3000 RPM → $1\times = 50$ Hz.

Ba đại lượng đo dao động

Cùng một dao động, ba cách đo, nhấn mạnh dải tần khác nhau.



Chuyển vị (μm)

Nổi bật ở tần số thấp.
Lệch trục, chuyển động ổ trượt.



Vận tốc (mm/s)

Cân bằng dải rộng.
Dùng phổ biến nhất, theo ISO.



Gia tốc (g)

Nổi bật ở tần số cao.
Ổ bi, bánh răng, va đập.

Lựa chọn đại lượng đo dao động

Nguyên tắc: Chọn đại lượng theo dải tần số khảo sát & dạng hư hỏng

Chuyển vị [μm]

TUABIN, MÁY CHẠM · < 10 Hz

Chuyển vị (Displacement) [μm]: Máy tốc độ thấp (<10 Hz, dưới 600 RPM), đo khe hở trục.

Vận tốc [mm/s]

ĐÁNH GIÁ TỔNG QUÁT · ISO 20816

Vận tốc (Velocity) [mm/s]: Đánh giá tổng quát tình trạng máy dải trung bình (10-1000 Hz) theo ISO 20816.

Gia tốc [g]

TẦN SỐ CAO · > 1 kHz

Gia tốc (Acceleration) [g]: Phát hiện hư hại tần số cao (>1 kHz) như lỗi gối đỡ ổ lăn, ăn khớp bánh răng.

Mối liên hệ vi tích phân: $v = \int a \, dt \mid x = \int v \, dt$. Tích phân làm mượt tín hiệu cao tần; gia tốc cực kỳ nhạy bén ở tần số cao.

Quan hệ toán học D–V–A

Vận tốc & gia tốc là đạo hàm của chuyển vị.

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

Chuyển vị

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

Vận tốc = dx/dt

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

Gia tốc = dv/dt

- **Biên độ:** $V = \omega X$; $A = \omega^2 X$ — nhân thêm ω mỗi lần đạo hàm.
- Gia tốc khuếch đại mạnh các thành phần tần số cao.
- Tích phân ($a \rightarrow v \rightarrow x$) làm nổi tần số thấp nhưng dễ trôi nền.

Chọn đại lượng đo nào?

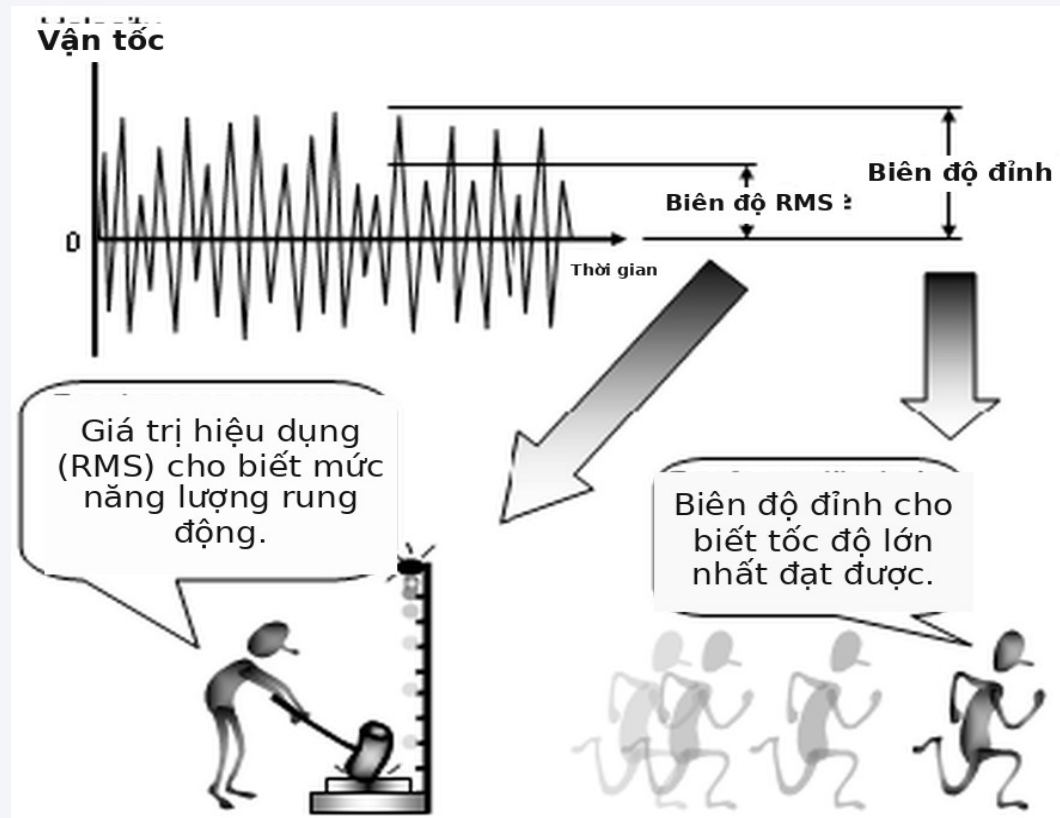
Đại lượng	Dải tần phù hợp	Lỗi điển hình
Chuyển vị	< 10 Hz	Chuyển động trực, ổ trượt
Vận tốc	10 Hz – 1–2 kHz	Mất cân bằng, lệch trục, lỏng
Gia tốc	> 1 kHz	Ổ bị, bánh răng, va đập

Mặc định: Vận tốc RMS (mm/s) là đại lượng tổng quát nhất, cơ sở đánh giá theo ISO 10816.

Định lượng biên độ

Peak, Peak–Peak, RMS phản ánh độ lớn của rung.

- **Đỉnh (Peak):** giá trị lớn nhất.
- Đỉnh–Đỉnh: toàn dải dao động (dùng cho chuyển vị).
- RMS: giá trị hiệu dụng — năng lượng, dùng ISO.
- Sóng sin: $RMS = 0,707 \times Peak$.



Năng lượng rung: RMS & Peak (Commtest)

Tham số đặc trưng miền thời gian

Các chỉ số tính trực tiếp từ dạng sóng.

- **RMS, Peak, Peak-Peak: độ lớn rung.**
- Crest factor = Peak/RMS: nhạy với va đập.
- Kurtosis: độ 'nhọn' — tăng khi có xung.
- Phương sai, độ lệch chuẩn, hệ số lệch...

Giá trị	Tín hiệu liên tục	Tín hiệu số
Giá trị trung bình (mean)	$\bar{x} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$	$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x[n]$
Giá trị trung bình hiệu dụng (root mean square - RMS)	$\tilde{x} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x(t)^2 dt}$	$\tilde{x} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x[n])^2}$
Giá trị đỉnh dương (maximum)	$x_{p+} = \max(x(t))$	$x_{p+} = \max(x[n])$
Giá trị đỉnh âm (minimum)	$x_{p-} = \min(x(t))$	$x_{p-} = \min(x[n])$
Giá trị đỉnh kép (peak to peak)	$x_{p-p} = x_{p+} - x_{p-}$	$x_{p-p} = x_{p+} - x_{p-}$
Hệ số Crest (Crest factor)	$C_r = \frac{x_{p-p}}{\tilde{x}}$	$C_r = \frac{x_{p-p}}{\tilde{x}}$
Phương sai	$\sigma_x^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (x(t) - \bar{x})^2 dt$	$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x[n] - \bar{x})^2$
Độ lệch chuẩn	σ_x	σ_x
Hệ số lệch	$\gamma_x = \frac{1}{\sigma_x^3} \int_0^T (x(t) - \bar{x})^3 dt$	$\gamma_x = \frac{1}{\sigma_x^3} \sum_{n=1}^N (x[n] - \bar{x})^3$
Hệ số Kurtosis (Kurtosis factor)	$\beta_x = \frac{1}{\sigma_x^4} \int_0^T (x(t) - \bar{x})^4 dt$	$\beta_x = \frac{1}{\sigma_x^4} \sum_{n=1}^N (x[n] - \bar{x})^4$

Tham số đặc trưng trong miền thời gian

Crest factor & Kurtosis

Hai chỉ số nhạy với xung và đập, hữu ích cho ổ bi.

$$CF = \text{Peak} / \text{RMS}$$

Hệ số đỉnh

$$CF \approx 1,41$$

Sóng sin (bình thường)

$$CF \gg 1,41$$

Có xung và đập (ổ bi hư)

- **Crest factor & kurtosis cao báo các xung và đập sắc nhọn.**
- Hữu ích để phát hiện sớm hư ổ bi khi RMS chưa tăng nhiều.
- Kết hợp với enveloping để chẩn đoán ổ bi.

Dao động tự do & tắt dần

Khi lệch khỏi cân bằng rồi thả ra, hệ dao động ở tần số tự nhiên.

- **Không có lực kích thích, chỉ có điều kiện ban đầu.**
- Hệ dao động ở tần số tự nhiên f_n .
- Biên độ giảm dần theo hàm mũ do giảm chấn.
- Tốc độ tắt phụ thuộc hệ số cản ζ .
- Dùng để xác định f_n qua thử gõ (bump test).

Mối liên hệ vi tích phân: $v = \int a \, dt \mid x = \int v \, dt$. Tích phân làm mượt tín hiệu cao tần; gia tốc cực kỳ nhạy bén ở tần số cao.

Dao động tự do tắt dần theo thời gian

Tần số tự nhiên

$$\omega_n = \sqrt{k/m}$$

Tần số góc tự nhiên (rad/s)

$$f_n = \omega_n/2\pi$$

Tần số tự nhiên (Hz)

- $\uparrow$ **Khối lượng** $\rightarrow f_n$ giảm; $\uparrow$ **Độ cứng** $\rightarrow f_n$ tăng.
- Mỗi kết cấu có nhiều tần số tự nhiên (mode).
- f_n là 'điểm yếu' động học cần tránh khi vận hành.

Cộng hưởng

Khi tần số kích thích tiến gần f_n , biên độ tăng vọt.



$r \ll 1$ (cứng)

Tần số kích thích thấp $\rightarrow$ biên độ $\approx$ tĩnh.



$r \approx 1$ (cộng hưởng)

Khuếch đại lớn, giới hạn bởi giảm chấn — nguy hiểm.



$r \gg 1$ (khối lượng)

Tần số cao $\rightarrow$ biên độ nhỏ $\rightarrow$ cách ly rung.

Tỷ số tần số $r = \omega/\omega_n$: Cộng hưởng xảy ra khi $r \approx 1$. Căn ζ càng nhỏ $\rightarrow$ đỉnh cộng hưởng càng cao và nguy hiểm.

Tốc độ tới hạn & phòng tránh

Tốc độ quay làm bậc kích thích trùng một tần số tự nhiên.

- **Tốc độ tới hạn:** $1\times$ (hoặc bậc khác) trùng f_n của rotor $\rightarrow$ cộng hưởng.
- Rotor có thể có nhiều tốc độ tới hạn.
- Phải đi qua nhanh, không vận hành dừng tại đó.



Đổi tốc độ

Tránh chạy gần f_n .



Đổi k

Gia cường/làm mềm $\rightarrow$ dời f_n .



Đổi m

Thêm/bớt khối lượng.



Tăng cản

Bộ hấp thụ rung.

Tổng hợp dao động

Rung động máy thực là tổng nhiều dao động điều hoà.

- **Mỗi nguồn lỗi đóng góp một thành phần tần số riêng.**
- Dạng sóng tổng phức tạp, khó tách bằng mắt thường.
- RMS phản ánh tổng năng lượng của tất cả thành phần.
- FFT giúp tách tổng này thành từng thành phần riêng.
- Đây là lý do phân tích phổ là công cụ chẩn đoán chính.

Biến đổi Fourier (FFT)

FFT biến dạng sóng theo thời gian thành phổ tần số.

- Mọi tín hiệu tuần hoàn = tổng các sóng sin.
- FFT: thuật toán biến đổi nhanh sang miền tần số.
- Độ phân giải $\Delta f = 1/T$; giới hạn = tần số Nyquist.
- Phổ tách rung thành các thành phần theo tần số.

Công thức phép biến đổi Fourier

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(n) e^{-j2\pi(k-1)\frac{n-1}{N}} \quad \Delta f = \frac{1}{T} = \frac{1}{(N-1)T_0} = \frac{f_s}{N-1}$$

Phép biến đổi Fourier ngược

$$x(n) = \sum_{k=1}^N X(k) e^{j2\pi(k-1)\frac{n-1}{N}} \quad f_k = (k-1)\Delta f = \frac{(k-1)}{T}$$

$t_n = (n-1)T_0 = \frac{n-1}{f_s}$ $f_N = f_s / 2$ $T = (N-1)T_0$

Thông số biểu diễn	Miền thời gian	Miền tần số
Độ phân dải	$T_0 = 1 / f_s$	$\Delta f = \frac{1}{T} = \frac{1}{(N-1)T_0} = \frac{f_s}{N-1}$
Giới hạn	$T = (N-1)T_0$	$f_N = f_s / 2$ (Tần số Nyquist)
Trị số các điểm rời rạc trên trục thời gian hoặc trục tần số	$t_n = (n-1)T_0 = \frac{n-1}{f_s}$ ($n = 1, 2, \dots, N$)	$f_k = (k-1)\Delta f = \frac{(k-1)}{T}$ ($k = 1, 2, \dots, N$)

Công thức biến đổi Fourier & tham số biểu diễn

Đọc phổ & phân tích pha

Vị trí các đỉnh và pha tiết lộ nguồn gốc của rung.

Đọc phổ

- Đỉnh $1\times$ → liên quan tốc độ quay.
- Hài $2\times, 3\times$ → lệch trục, lỏng lẻo.
- Dải biên quanh đỉnh → điều biên.
- Nền phổ tăng → mài mòn phân tán.

Phân tích pha

- Pha bổ sung thông tin mà biên độ không có.
- Phân biệt mất cân bằng và lệch trục.
- Đổi pha 180° qua một tần số → cộng hưởng.
- Cần thiết cho cân bằng động.

Các bẫy thường gặp khi đo & FFT

- **Aliasing:** $F_{\max}$ /lấy mẫu sai → đỉnh giả ở tần số sai.
- Rò rỉ phổ (leakage): không dùng cửa sổ → đỉnh bị 'nhoè'.
- Độ phân giải kém → không tách được các đỉnh sát nhau.
- Cộng hưởng giá đỡ cảm biến → đỉnh không thuộc về máy.
- Không biết tốc độ quay → quy chiếu bậc sai → chẩn đoán sai.

Tổng kết Phần 3

- Dao động đặc trưng bởi biên độ, tần số, chu kỳ, pha; mô hình $m\ddot{x}+c\dot{x}+kx=F(t)$.
- Tần số biểu diễn theo Hz/cpm hoặc bậc; D–V–A là ba cách đo ($v=\omega x$, $a=\omega^2 x$).
- Biên độ: Peak, Peak–Peak, RMS; crest factor & kurtosis báo va đập.
- Tần số tự nhiên $f_n=\sqrt{(k/m)}/2\pi$; cộng hưởng khi $r=\omega/\omega_n \approx 1$.
- FFT chuyển waveform sang phổ; đọc đỉnh, hài, dải biên & pha để chẩn đoán.

Câu hỏi ôn tập Phần 3

1 Đại lượng

Quan hệ giữa chuyển vị, vận tốc, gia tốc?

2 Pha

Vì sao cần đo pha tham chiếu vòng quay?

3 Cộng hưởng

Điều kiện cộng hưởng? Vì sao nguy hiểm?

4 FFT

FFT làm gì? Đọc một phổ như thế nào?

Phần 4

Các phương pháp phân tích & đặc trưng tín hiệu

Lý thuyết rung động — Phần 2: kỹ thuật phân tích miền tần số và trích xuất đặc trưng

Phổ & hài, dải biên

Cửa sổ & trung bình

TSA & phân tích đường bao

Phổ chẩn đoán

Đặc trưng & quy trình

Mục tiêu của Phần 4



Hiểu các phương pháp phân tích tín hiệu và biết đọc phổ tần số

Đỉnh, hài, dải biên và ý nghĩa của chúng.



Kỹ thuật xử lý

Cửa sổ, trung bình, TSA, phân tích đường bao.



Enveloping cho ổ bi

Tách điều biên để phát hiện hư ổ bi sớm.



Đặc trưng & quy trình

Trích đặc trưng và đọc phổ một cách hệ thống.

4.1 · CẤU TRÚC TÍN HIỆU RUNG

Phân loại các họ tín hiệu rung động

Nguyên lý: Đặc tính toán học xác định việc lựa chọn công cụ xử lý tương ứng

TẮT ĐỊNH — mô tả bằng hàm toán học

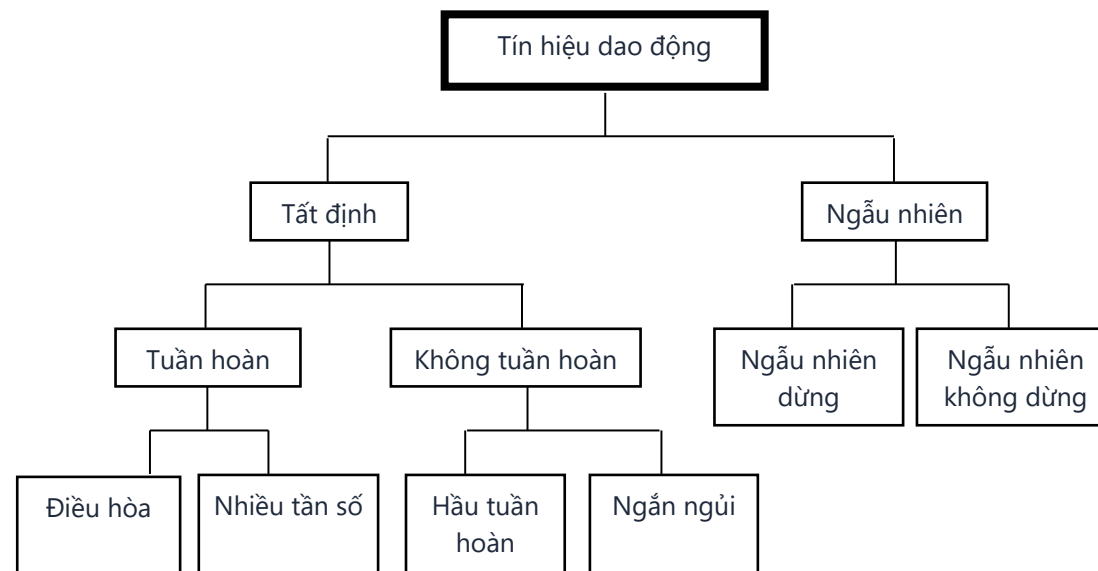
- Tắt định (mô tả bằng hàm số):
- **Tuần hoàn:** Dao động đơn tần hoặc đa tần có chu kỳ.
- **Không tuần hoàn:** Tín hiệu quá độ ngắn hạn.

NGẪU NHIÊN — mô tả qua thống kê (RMS, PSD)

Ngẫu nhiên (mô tả qua thống kê):

- **Dừng:** Đặc trưng thống kê không đổi theo thời gian.
- **Không dừng:** Đặc trưng thống kê biến đổi liên tục.

Áp dụng: FFT dùng cho tín hiệu tắt định | Phổ đường bao cho xung va đập | Trị thống kê cho nhiễu nền.

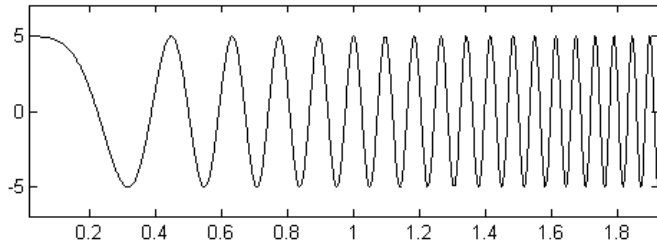


Phân loại các họ tín hiệu rung động

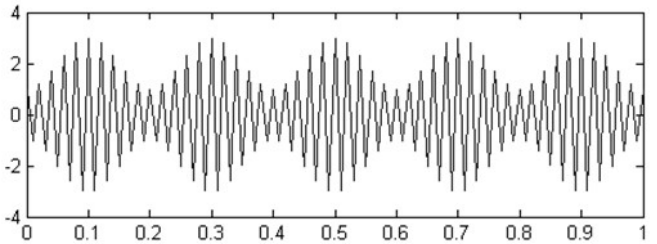
4.1 · CẤU TRÚC TÍN HIỆU RUNG

Hiện tượng điều chế tín hiệu (AM / FM)

Cơ chế hình thành dải biên trên phổ tần số



Hình 5. Cấu trúc điều biến biên độ (AM)



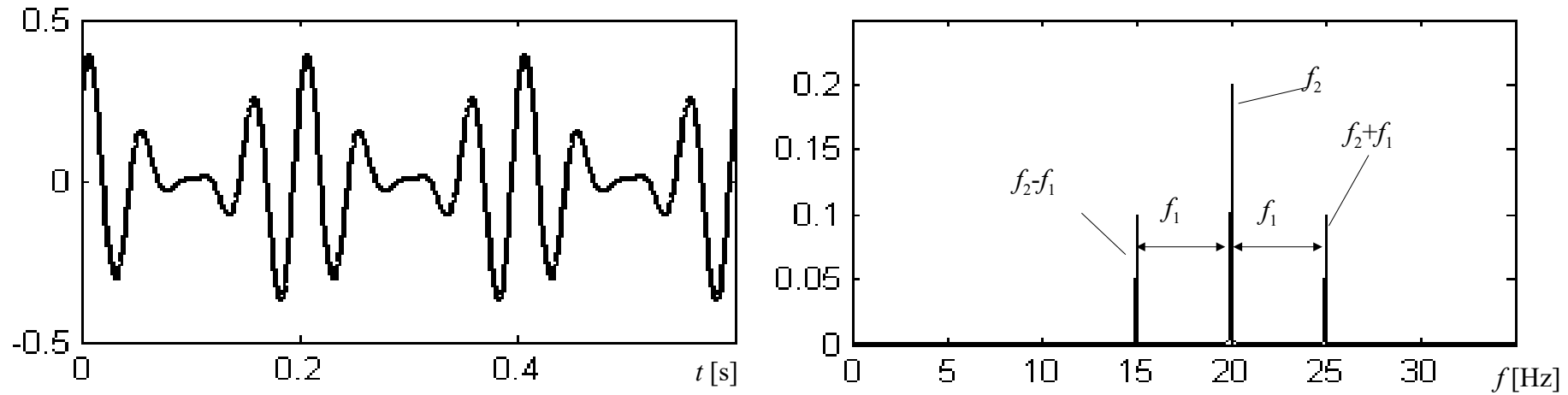
Hình 6. Cấu trúc điều biến tần số (FM)

Ý NGHĨA CHẨN ĐOÁN

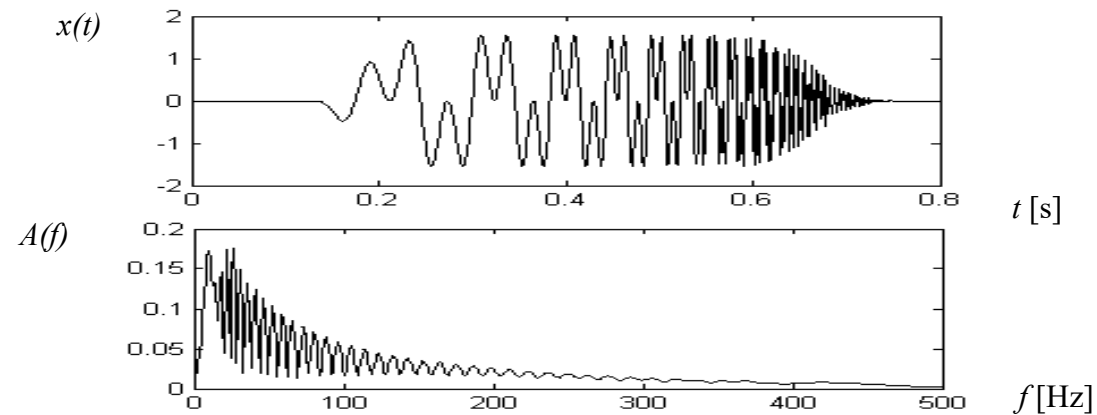
- **Điều chế biên độ (AM):** Va đập chu kỳ (ổ lăn, bánh răng) tạo dải biên quanh tần số mang.
- **Điều chế tần số (FM):** Biến động tốc độ/tải trọng làm thay đổi tần số dao động theo thời gian.
- **Xếp chồng tín hiệu:** Rung tổng hợp từ nhiều nguồn phát, cần tách bằng bộ lọc/phổ đường bao.
- **Giá trị dải biên:** Khoảng cách dải biên chính bằng tần số của lực kích thích gây ra lỗi.

4.1 · CẤU TRÚC TÍN HIỆU RUNG

Phổ tín hiệu điều biến biên độ

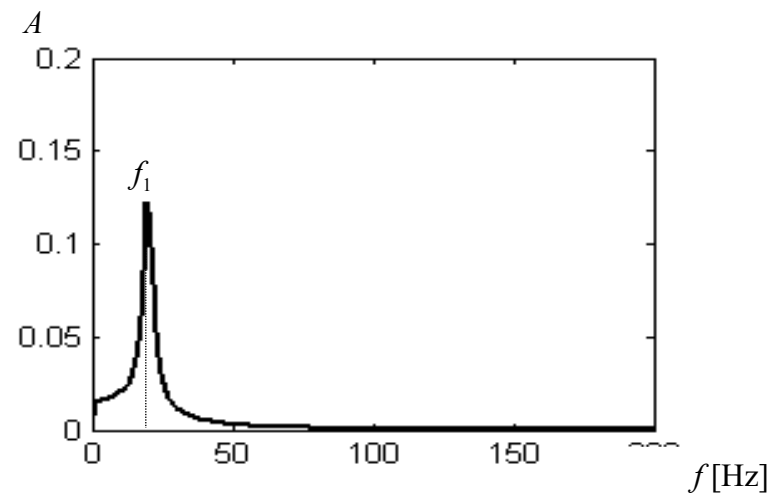
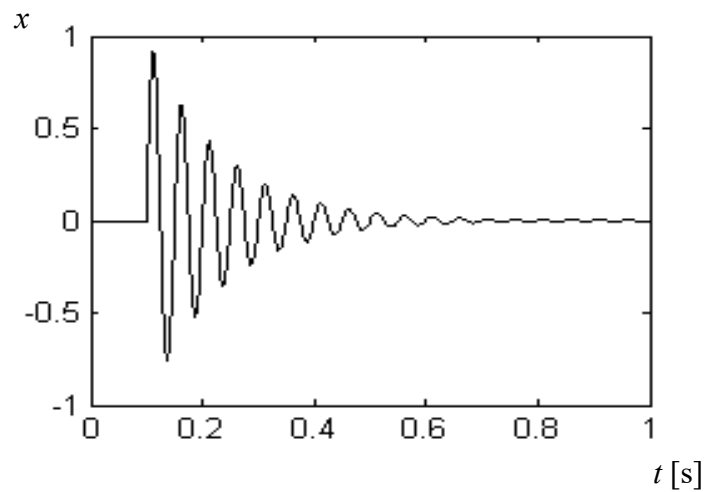


Phổ tín hiệu điều biến tần số

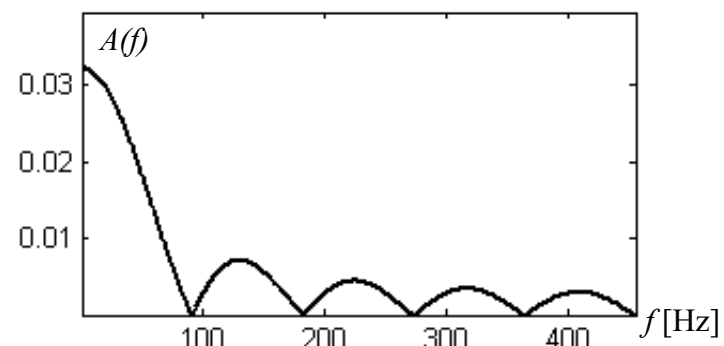
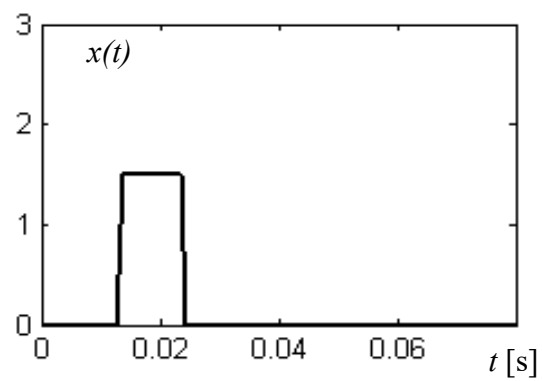


4.1 · CẤU TRÚC TÍN HIỆU RUNG

Phổ tín hiệu tắt dần

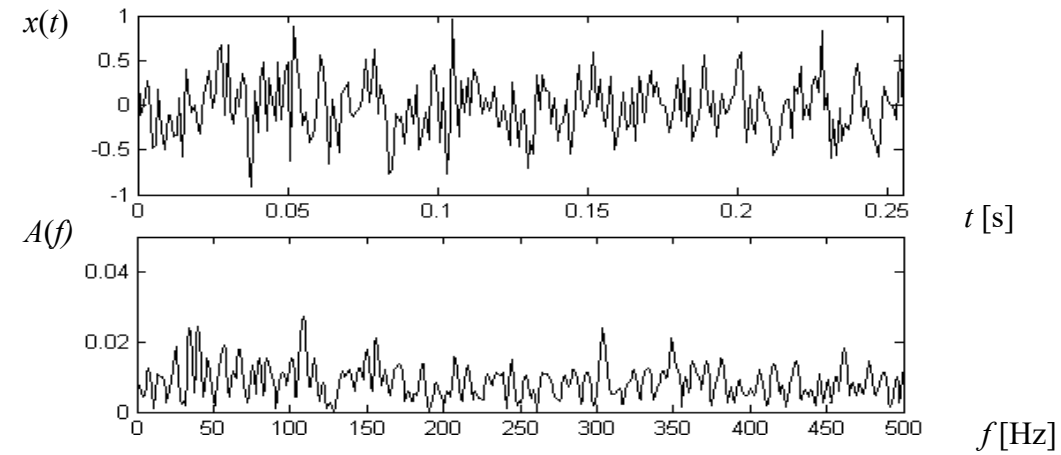


Phổ tín hiệu ngắn

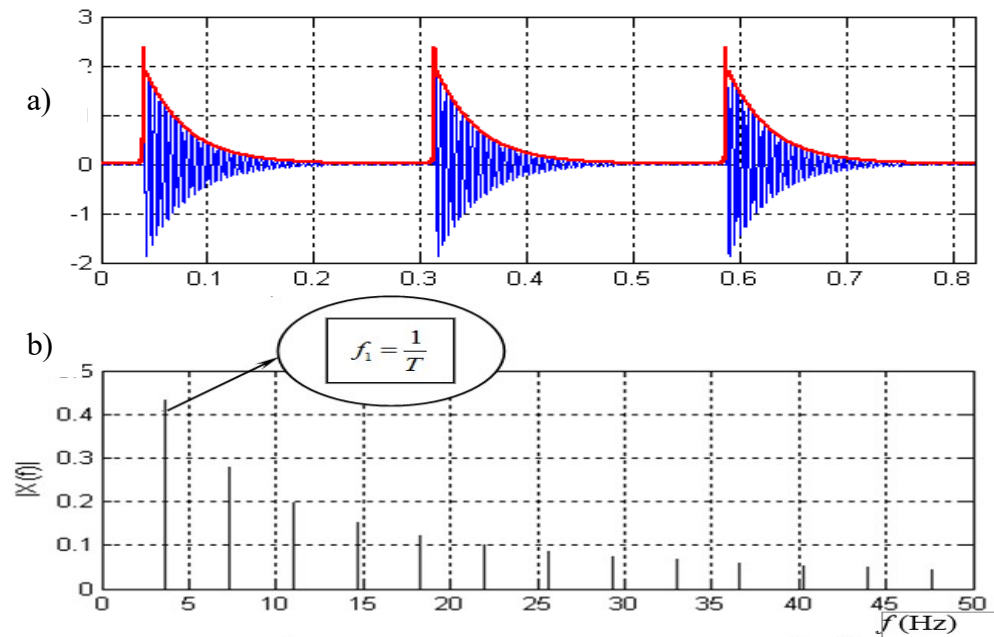


4.1 · CẤU TRÚC TÍN HIỆU RUNG

Phổ tín hiệu ngẫu nhiên



Phổ tín đường bao



4.2 · CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH TÍN HIỆU RUNG

Phân loại theo miền xử lý tín hiệu đặc trưng

Miền thời gian

- **Miền thời gian:** Đo trị thống kê (RMS, Peak, Crest Factor, Kurtosis) & TSA.

Miền tần số

- **Miền tần số:** Phân tích phổ tần số (FFT) & Phổ đường bao (Envelope).

Miền thời gian – tần số

- **Miền thời-tần số:** Phổ thời gian - tần số đồng thời (STFT, biến đổi Wavelet).

HẠN CHẾ CỦA FFT TRUYỀN THỐNG: Kém hiệu quả với tín hiệu quá độ ngắn, tín hiệu ngẫu nhiên (năng lượng bị phân tán dải rộng) hoặc tín hiệu không dừng có tần số thay đổi theo thời gian.

Tham số đặc trưng trong miền thời gian

Mục đích: Chỉ số thống kê tính từ dạng sóng thời gian để giám sát xu hướng lỗi

- **RMS:** Đo mức năng lượng rung tổng thể, đánh giá tình trạng chung máy.
- **Peak / Peak-to-Peak:** Nhạy bén với xung và đập cơ học tức thời.
- **Crest Factor:** Tỷ số Peak/RMS, nhận diện xung và đập sắc nhọn giai đoạn đầu.
- **Kurtosis:** Chỉ số độ nhọn phân phối biên độ, chỉ báo sớm lỗi bề mặt ổ lăn.
- **Skewness:** Đo tính đối xứng của tín hiệu dao động.

Giá trị	Tín hiệu liên tục	Tín hiệu số
Giá trị trung bình (mean)	$\bar{x} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$	$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x[n]$
Giá trị trung bình hiệu dụng (root mean square - RMS)	$\tilde{x} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x(t)^2 dt}$	$\tilde{x} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x[n])^2}$
Giá trị đỉnh dương (maximum)	$x_{p+} = \max(x(t))$	$x_{p+} = \max(x[n])$
Giá trị đỉnh âm (minimum)	$x_{p-} = \min(x(t))$	$x_{p-} = \min(x[n])$
Giá trị đỉnh kép (peak to peak)	$x_{p-p} = x_{p+} - x_{p-}$	$x_{p-p} = x_{p+} - x_{p-}$
Hệ số Crest (Crest factor)	$C_r = \frac{x_{p-p}}{\tilde{x}}$	$C_r = \frac{x_{p-p}}{\tilde{x}}$
Phương sai	$\sigma_x^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (x(t) - \bar{x})^2 dt$	$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x[n] - \bar{x})^2$
Độ lệch chuẩn	σ_x	σ_x
Hệ số lệch	$\gamma_x = \frac{1}{\sigma_x^3} \int_0^T (x(t) - \bar{x})^3 dt$	$\gamma_x = \frac{1}{\sigma_x^3} \sum_{n=1}^N (x[n] - \bar{x})^3$
Hệ số Kurtosis (Kurtosis factor)	$\beta_x = \frac{1}{\sigma_x^4} \int_0^T (x(t) - \bar{x})^4 dt$	$\beta_x = \frac{1}{\sigma_x^4} \sum_{n=1}^N (x[n] - \bar{x})^4$

Hình 7. Các giá trị tín hiệu đặc trưng trong miền thời gian

So sánh phân tích miền thời gian & miền tần số

Mối quan hệ: FFT làm cầu nối toán học, hai miền cung cấp thông tin bổ khuyết chéo

Miền thời gian

- **Miền thời gian:** Quan sát dạng sóng cơ bản, biên độ đỉnh & hiện tượng xén ngọn (clipping).

Miền tần số

- **Miền tần số:** Bóc tách dao động phức tạp thành các vạch phổ đơn lẻ, ánh xạ tần số sang nguyên nhân lỗi.

Theo bậc quay (order)

- **Phân tích bậc quay (Order Tracking):** Quy đổi Hz sang bội số tốc độ quay của trục, áp dụng cho máy tốc độ biến thiên.

Vì sao phân tích phổ?

Phổ tách rung phức tạp thành các thành phần riêng để chẩn đoán.

Ý tưởng: Mỗi nguồn lỗi sinh rung ở một (vài) tần số đặc trưng. Phổ tần số biến dạng sóng phức tạp thành các đỉnh rõ ràng để 'đọc' ra nguyên nhân.



Đầu vào

Dạng sóng theo thời gian (waveform).



FFT

Biến đổi nhanh sang miền tần số.



Đầu ra

Phổ: biên độ theo từng tần số.

Nguyên lý phân tích trong miền tần số bằng biến đổi Fourier nhanh (FFT)

Thiết lập cặp công thức biến đổi Fourier thuận/ngược và cấu hình các tham số rời rạc cốt lõi: độ phân giải tần số, giới hạn Nyquist

Thông số biểu diễn	Miền thời gian	Miền tần số
Độ phân dải	$T_0 = 1 / f_s$	$\Delta f = \frac{1}{T} = \frac{1}{(N-1)T_0} = \frac{f_s}{N-1}$
Giới hạn	$T = (N-1)T_0$	$f_N = f_s / 2$ (Tần số Nyquist)
Trị số các điểm rời rạc trên trục thời gian hoặc trục tần số	$t_n = (n-1)T_0 = \frac{n-1}{f_s}$ $(n = 1, 2, ..., N)$	$f_k = (k-1)\Delta f = \frac{(k-1)}{T}$ $(k = 1, 2, ..., N)$

Hình 9. Công thức biến đổi Fourier (thuận/ngược) và bảng tham số miền thời gian – tần số

Độ phân giải phổ

Số vạch phổ và thời gian thu quyết định khả năng tách các đỉnh gần nhau.

$$\Delta f = F_{\max} / N$$

Độ phân giải theo số vạch N

$$\Delta f = 1 / T$$

Theo thời gian thu T

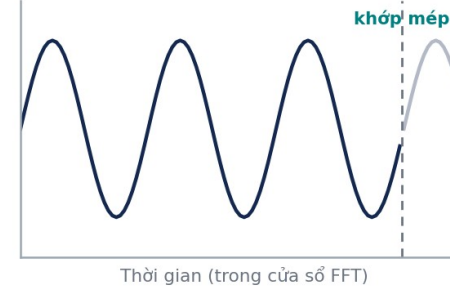
- **Nhiều vạch hơn → tách được các đỉnh sát nhau.**
- Đổi lại cần thời gian thu dài hơn ($\Delta f = 1/T$).
- Quan trọng khi phân tích dải biên ổ bi/bánh răng.

Rò rỉ phổ (Spectral leakage)

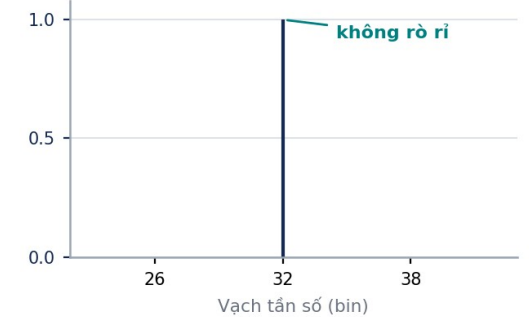
FFT giả định tín hiệu tuần hoàn trọn cửa sổ — không thoả thì phổ bị rò rỉ.

- Rò rỉ phổ: năng lượng một tần số 'rò' sang các vạch lân cận.
- Nguyên nhân: tín hiệu không trọn số nguyên chu kỳ trong cửa sổ FFT.
- Hậu quả: đỉnh thấp & nhoè, nền phổ tăng, khó tách các đỉnh sát nhau.
- Khắc phục: dùng hàm cửa sổ (Hanning, Flat-top) hoặc lấy mẫu đồng bộ / order tracking.

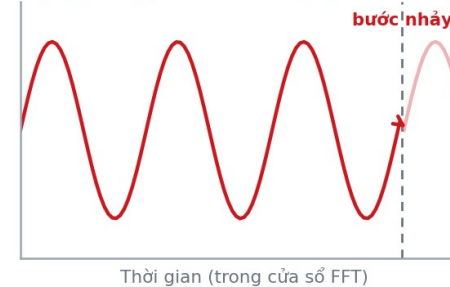
Dạng sóng — nguyên chu kỳ



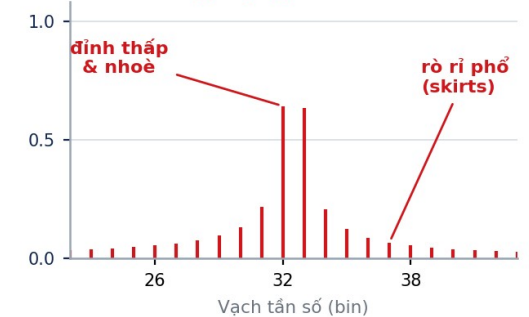
Phổ — 1 vạch sắc



Dạng sóng — KHÔNG nguyên chu kỳ



Phổ — năng lượng rò ra



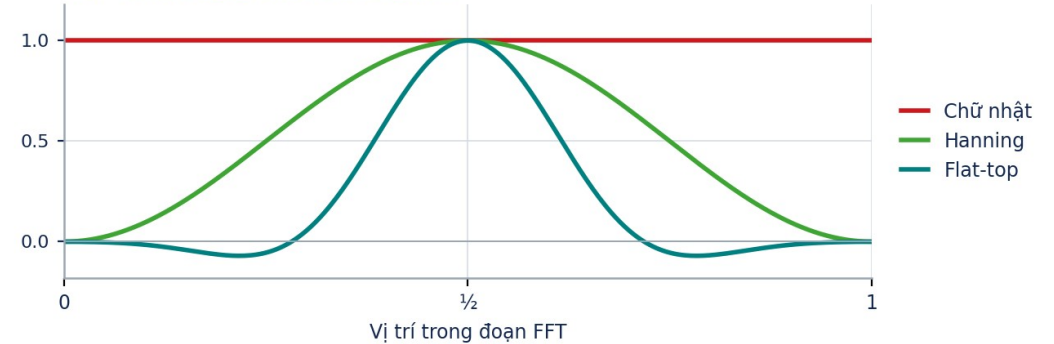
Trọn chu kỳ → 1 vạch sắc; lệch chu kỳ → năng lượng rò ra vạch lân cận

Các hàm cửa sổ: hình dạng & đáp ứng

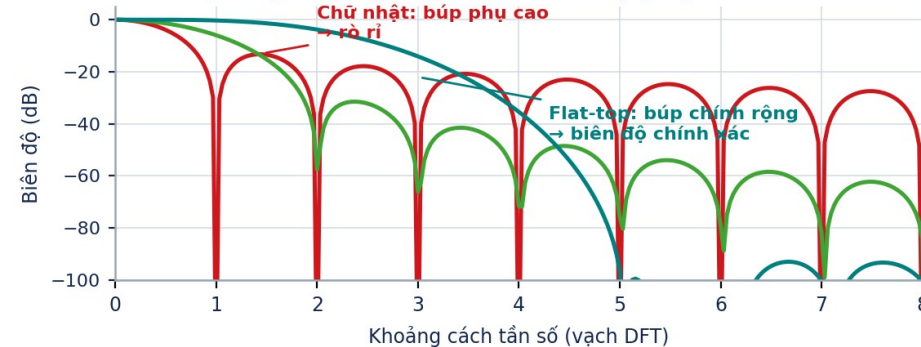
Đánh đổi giữa độ phân giải tần số (búp chính) và rò rỉ (búp phụ).

- Cửa sổ làm 'mượt' hai mép đoạn tín hiệu → giảm rò rỉ phổ.
- Chữ nhật (không cửa sổ): búp chính hẹp nhưng búp phụ cao → rò rỉ nhiều.
- Hanning: cân bằng độ phân giải & rò rỉ — mặc định cho rung tổng quát.
- Flat-top: búp chính rộng nhưng đo biên độ đỉnh chính xác nhất.

(a) Hình dạng theo thời gian



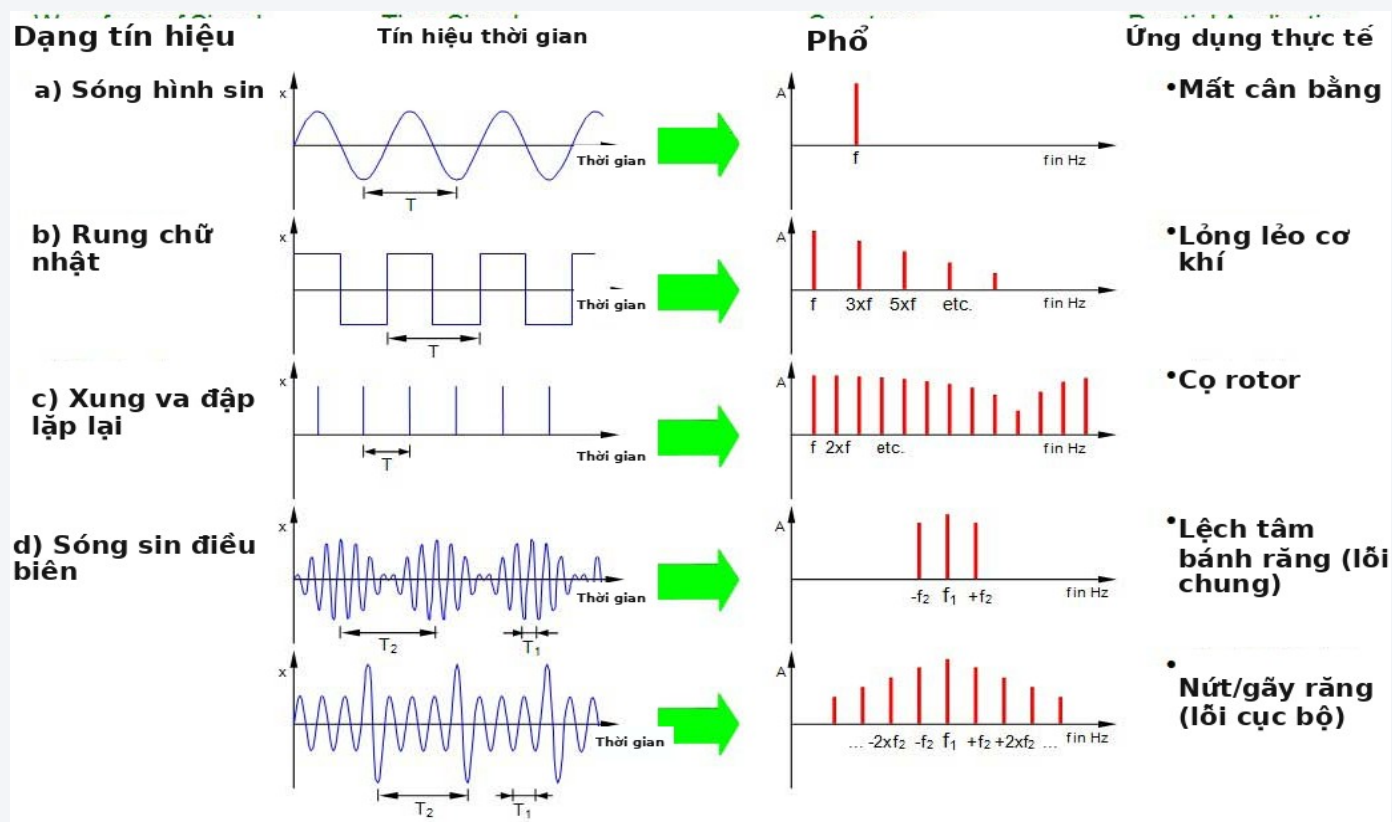
(b) Đáp ứng tần số — búp chính & búp phụ



Chữ nhật: búp phụ cao (rò rỉ); Flat-top: búp chính rộng, biên độ chính xác

4.3 · CÁC DẠNG TÍN HIỆU VÀ PHỔ ĐẶC TRƯNG

Mỗi dạng dao động tạo dạng sóng và vạch phổ đặc trưng.

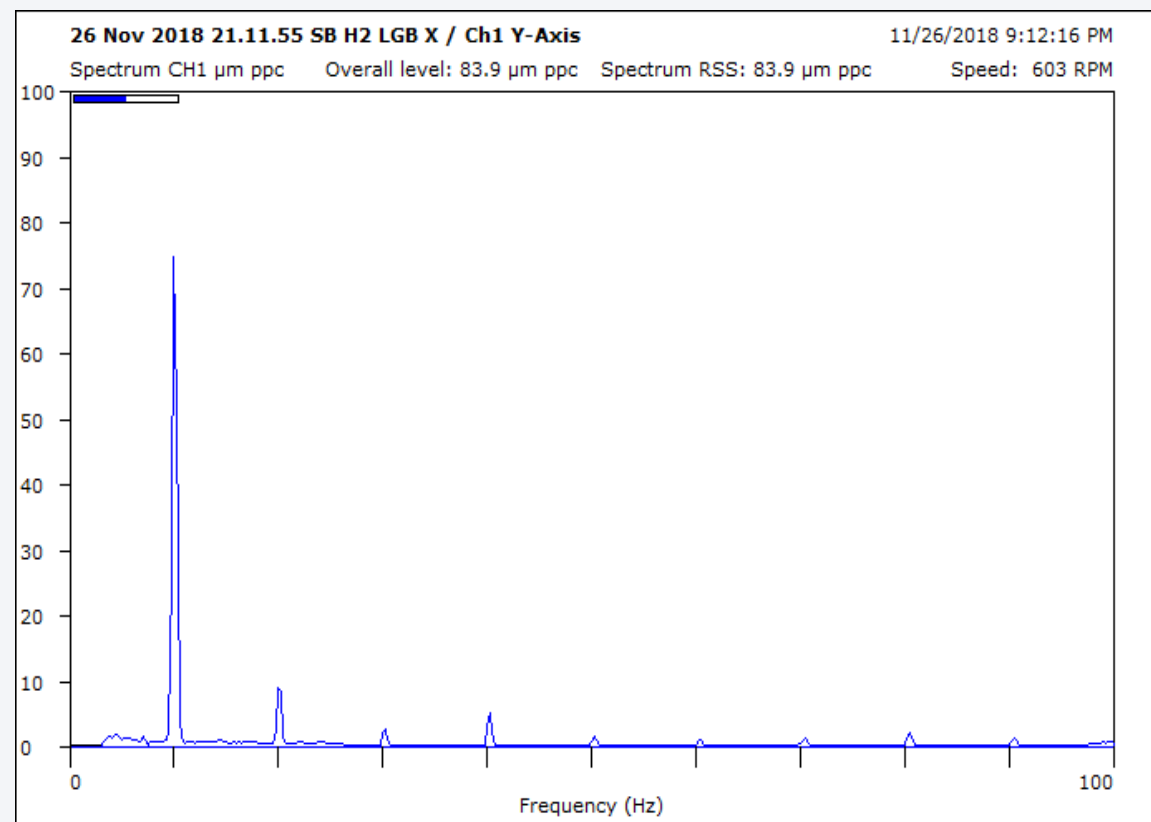


Dạng tín hiệu · Tín hiệu thời gian · Phổ · Ứng dụng (PRÜFTECHNIK)

Phổ thực tế: mất cân bằng

Đỉnh trội tại 1× tốc độ quay.

- Một đỉnh trội ở 1× tốc độ quay.
- Các hài rất nhỏ so với 1×.
- Biên độ tăng theo bình phương tốc độ.
- Là chữ ký điển hình của mất cân bằng.

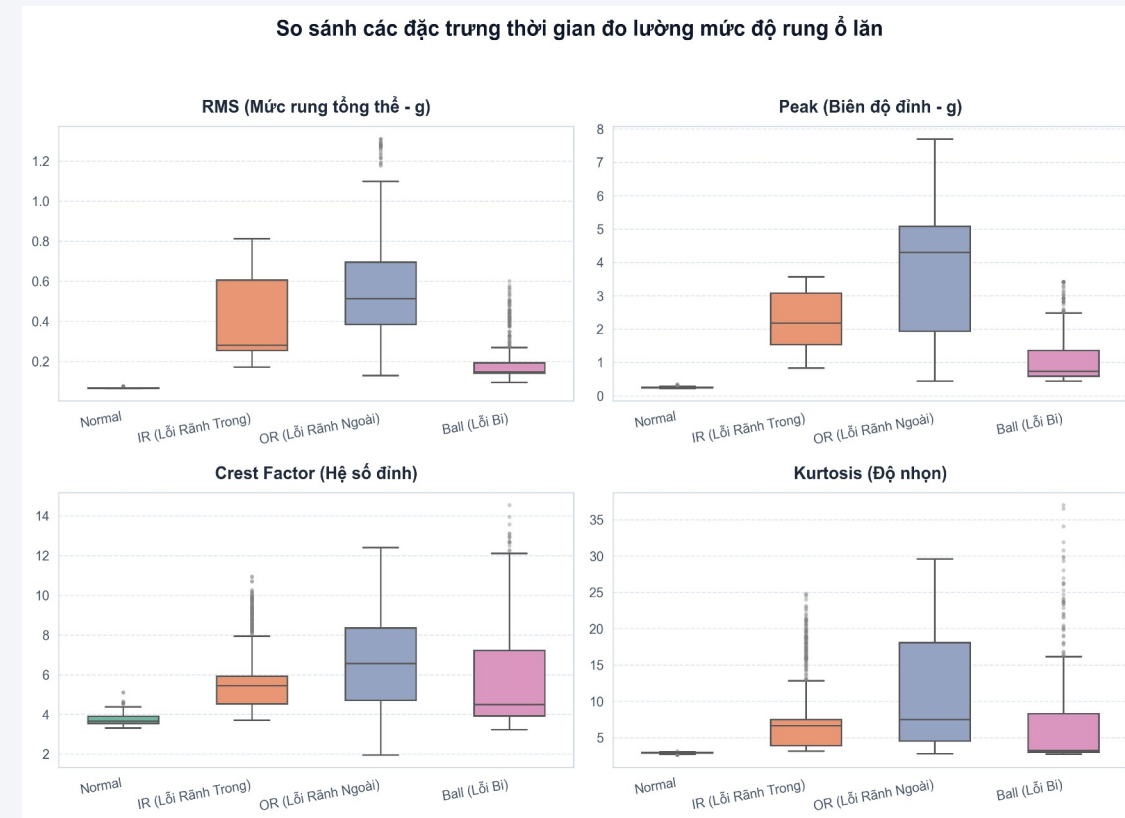


Phổ FFT thực đo — đỉnh 1× trội (603 RPM)

Trích xuất đặc trưng cho phân loại

Đặc trưng tốt là đầu vào cho cảnh báo tự động & học máy.

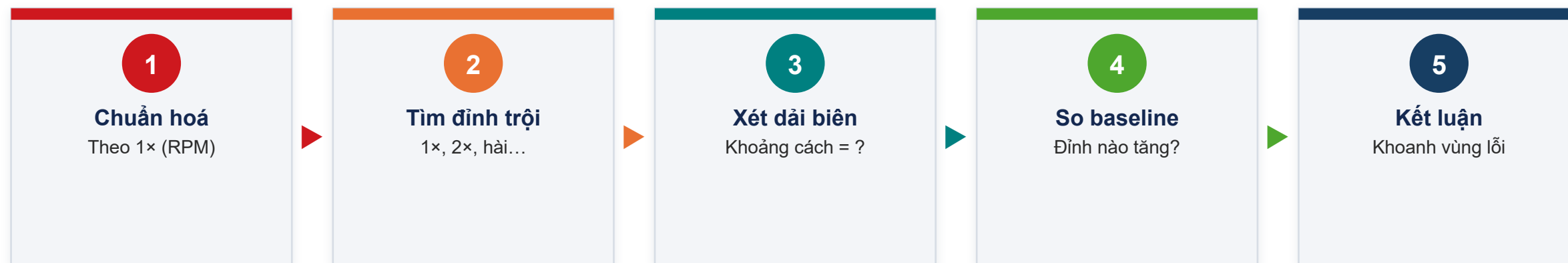
- **RMS, Peak, Crest factor, Kurtosis theo trạng thái.**
- Đặc trưng tốt tách rõ các trạng thái hư hỏng.
- Kết hợp nhiều đặc trưng → độ tin cậy cao.
- Đầu vào cho thuật toán phân loại (SVM, RF...).



So sánh đặc trưng theo trạng thái ổ lăn

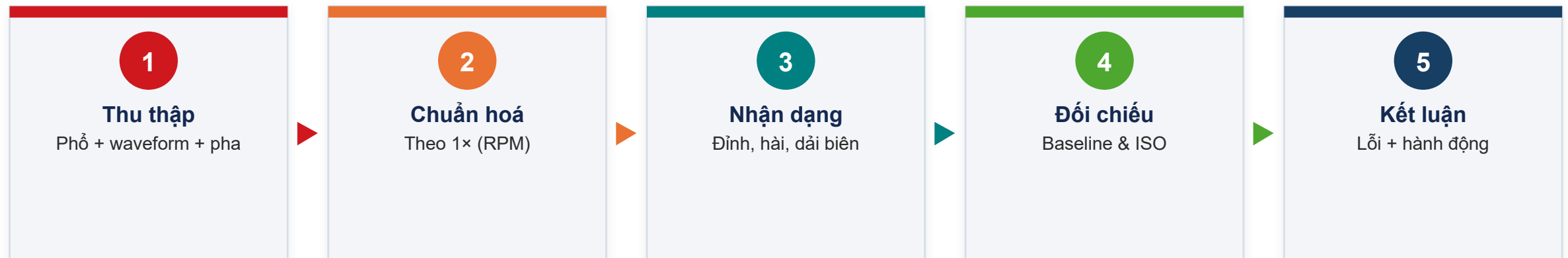
Quy trình phân tích phổ

Các bước hệ thống để đọc một phổ rung.



Mẹo: Luôn biết tốc độ quay (RPM) trước khi đọc phổ — mọi tần số lỗi đều quy chiếu theo nó.

Quy trình chẩn đoán tổng hợp



Nguyên tắc: Không kết luận chỉ từ một đỉnh — kết hợp phổ, dạng sóng, pha, hướng đo và xu hướng theo thời gian.

Chuyên đề hiện tại cung cấp cơ sở nền tảng để tiếp cận các kỹ thuật nâng cao tiếp theo

1 Nền tảng kỹ thuật

Lý thuyết rung, giám sát tình trạng & ý nghĩa dữ liệu
(Chuyên đề hiện tại)

2 Nhận diện lỗi & Chuẩn ISO

Nhận diện lỗi gói đỡ, bánh răng & Tiêu chuẩn đánh giá ISO 20816 / 13373.

3 Mô hình AI & Học sâu

Thực hành Google Colab, xây dựng mô hình CNN/LSTM & giải thích bằng SHAP.

4 Kỹ năng thực tế hiện trường

Cân bằng động hiện trường, chẩn đoán trên thiết bị thực tế & tích hợp quy trình CMMS.

BA MỤC TIÊU HỌC TẬP CỐT LÕI:

- Hiểu rõ lý thuyết rung động & vai trò giám sát tình trạng.
- Đọc hiểu các dấu hiệu rung cơ bản của thiết bị quay hiện trường.
- Hình thành tư duy ra quyết định bảo trì dựa trên số liệu định lượng.

CHUẨN NĂNG LỰC ĐẦU RA SAU KHÓA ĐÀO TẠO:

- **Năng lực:** Lựa chọn thiết bị giám sát & thiết lập vị trí cảm biến.
- **Kỹ năng:** Đo rung, phân tích, đặt ngưỡng cảnh báo động học.
- **Triển khai:** Tích hợp lịch sử bảo trì & vận hành mô hình chẩn đoán AI.

Tổng kết Phần 4

- **Phổ tách rung phức tạp thành đỉnh, hài và dải biên để chẩn đoán.**
- Cửa sổ giảm rò rỉ phổ; trung bình & TSA giảm nhiễu, làm nổi tín hiệu lặp.
- Phân tích đường bao (enveloping) phát hiện hư ổ bi rất sớm.
- So phổ với baseline; đọc theo bậc $1\times$ để khoanh vùng lỗi.
- Đặc trưng (RMS, crest, kurtosis...) là đầu vào cho cảnh báo & học máy.

Câu hỏi ôn tập Tiết 4

1 Dải biên

Dải biên trên phổ cho biết điều gì?

2 Cửa sổ

Vì sao cần cửa sổ? Khi nào dùng flat-top?

3 Enveloping

Quy trình enveloping và vì sao phát hiện ổ bi sớm?

4 Quy trình

Các bước đọc một phổ rung chưa biết?

Tổng kết bài học

Từ tầm quan trọng của đo rung động đến lý thuyết và chẩn đoán máy quay.



Giám sát là tất yếu

Đo rung phát hiện hư hỏng sớm, là nền của bảo trì dự đoán.



Hệ thống CM

Cảm biến → phân tích → cảnh báo theo ISO 10816; hướng tới CN 4.0.



Lý thuyết rung

Biên độ–tần số–pha, D–V–A, FFT, cộng hưởng & tốc độ tới hạn.



Chẩn đoán lỗi

Đọc chữ ký phổ: 1× mất cân bằng, 2× lệch trục, ổ bi, bánh răng.

Công thức & quan hệ then chốt



$$x(t) = A \cdot \sin(2\pi f \cdot t + \varphi)$$

Dao động điều hoà: biên độ A, tần số f, pha φ .



$$v = \omega \cdot x ; a = \omega^2 \cdot x \quad (\omega = 2\pi f)$$

Quan hệ chuyển vị – vận tốc – gia tốc.



$$RMS = 0,707 \times Peak \text{ (sóng sin)}$$

Liên hệ giữa các loại biên độ.



$$f_n = (1/2\pi) \cdot \sqrt{k/m}$$

Tần số tự nhiên của hệ một bậc tự do.



$$r = \omega/\omega_n \rightarrow \text{cộng hưởng khi } r \approx 1$$

Tỷ số tần số quyết định khuếch đại biên độ.

Thuật ngữ & viết tắt

CM	Condition Monitoring — giám sát tình trạng	PdM	Predictive Maintenance — bảo trì dự đoán
P–F	Đường cong từ phát hiện (P) đến hư hỏng (F)	FFT	Biến đổi Fourier nhanh — waveform → phổ
RMS	Giá trị hiệu dụng của biên độ	D·V·A	Chuyển vị · Vận tốc · Gia tốc
fn	Tần số tự nhiên của hệ	1× / 2×	Bậc theo tốc độ quay của trục
GMF	Tần số ăn khớp bánh răng = $Z \times \text{RPM}$	BPFO/BPFI	Tần số hư vòng ngoài / vòng trong ổ bi
ISO 10816	Tiêu chuẩn đánh giá mức rung (vùng A–D)	OEE	Hiệu suất thiết bị tổng thể

HẾT

Giám sát rung động — nền tảng vận hành tin cậy của nhà máy

Cảm ơn các bạn đã lắng nghe

HUST