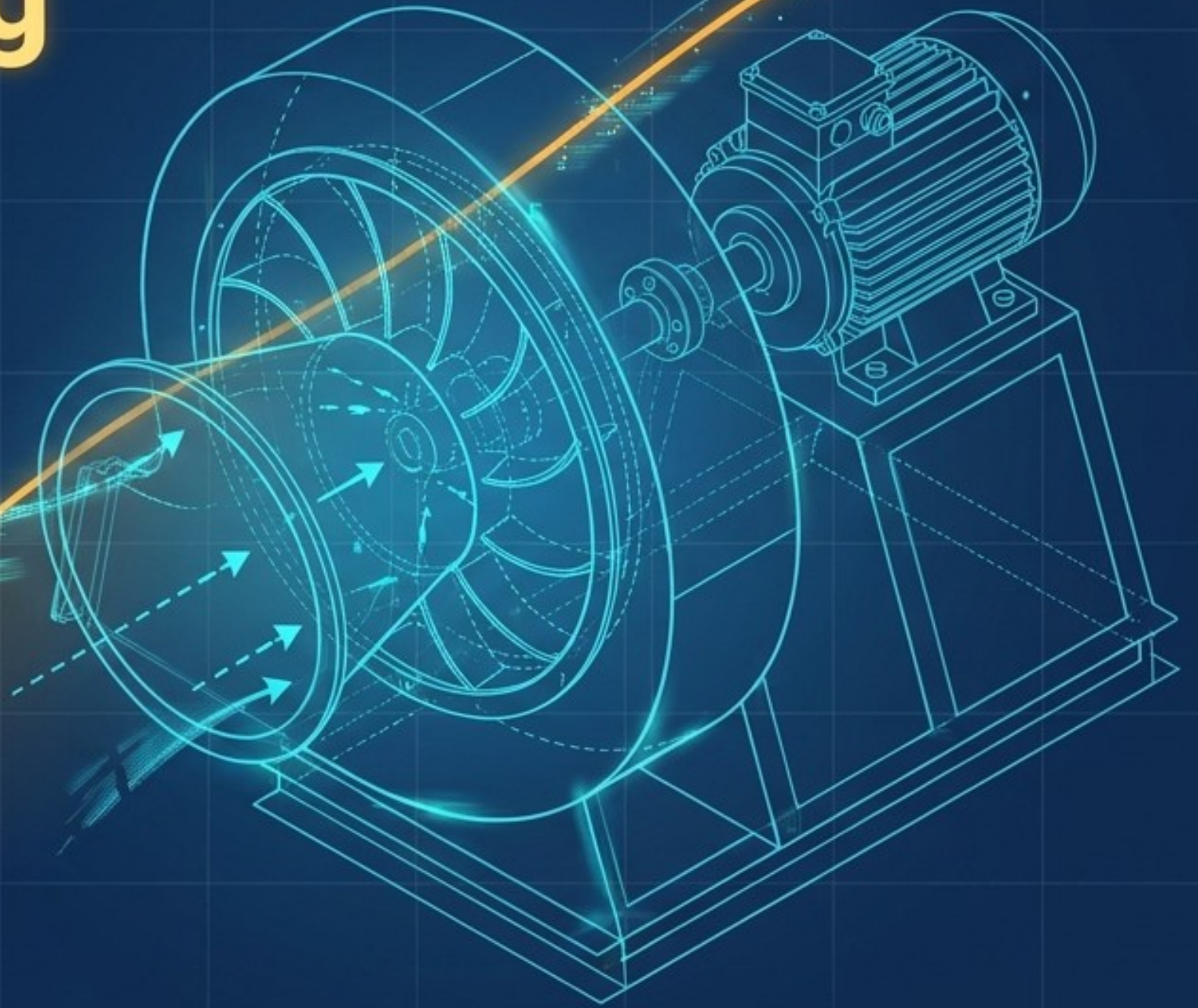


Từ Vật lý đến Lợi nhuận: Tối ưu hóa Hệ thống Quạt Công nghiệp

Giải mã Đường đặc tính, Định luật
Đồng dạng & Giải pháp Biến tần
trong Sản xuất Xi măng.



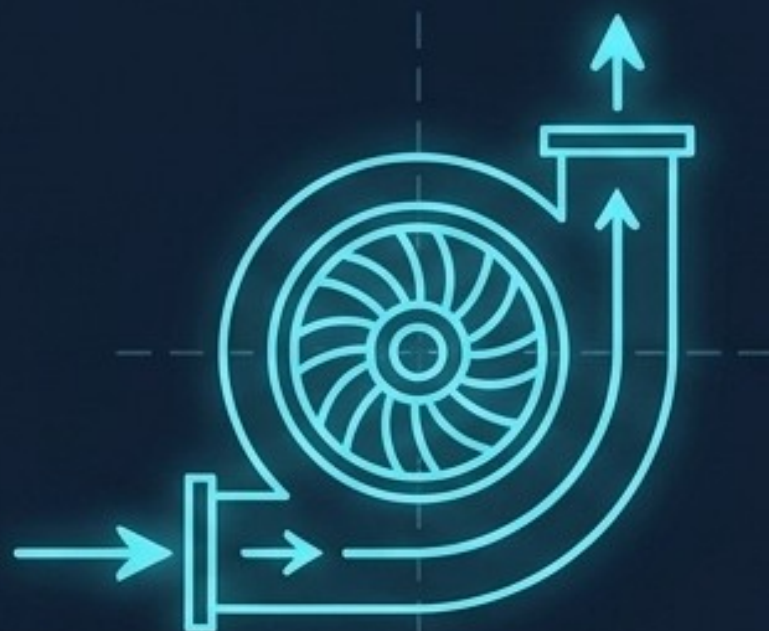
Quạt ID: "Lá phổi" của Hệ thống Nung Clinker



Quạt ID quyết định lưu lượng khí nóng (~350°C). Sự cố dừng quạt đồng nghĩa với việc dừng toàn bộ dây chuyền sản xuất.

Ma trận Phân loại: Quạt Ly tâm & Quạt Hướng trục

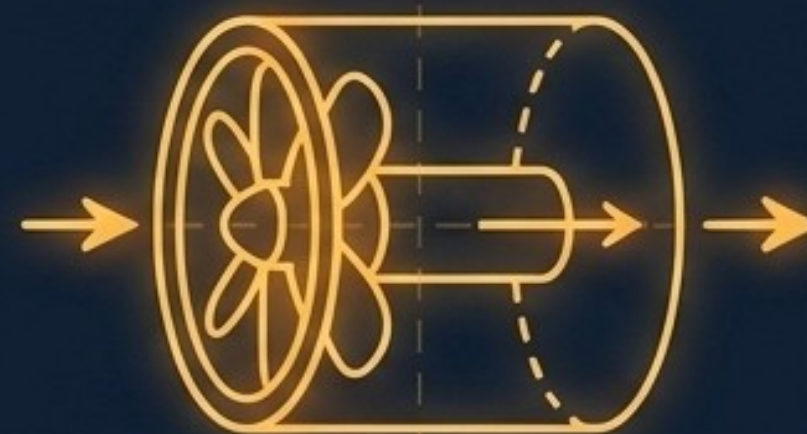
Quạt Ly tâm (Centrifugal)



- Đổi hướng dòng khí 90°
- Áp suất cao
- Lưu lượng vừa

Ứng dụng: Quạt ID, Quạt hút bụi, Quạt nghiền liệu (Chịu sứt áp lớn).

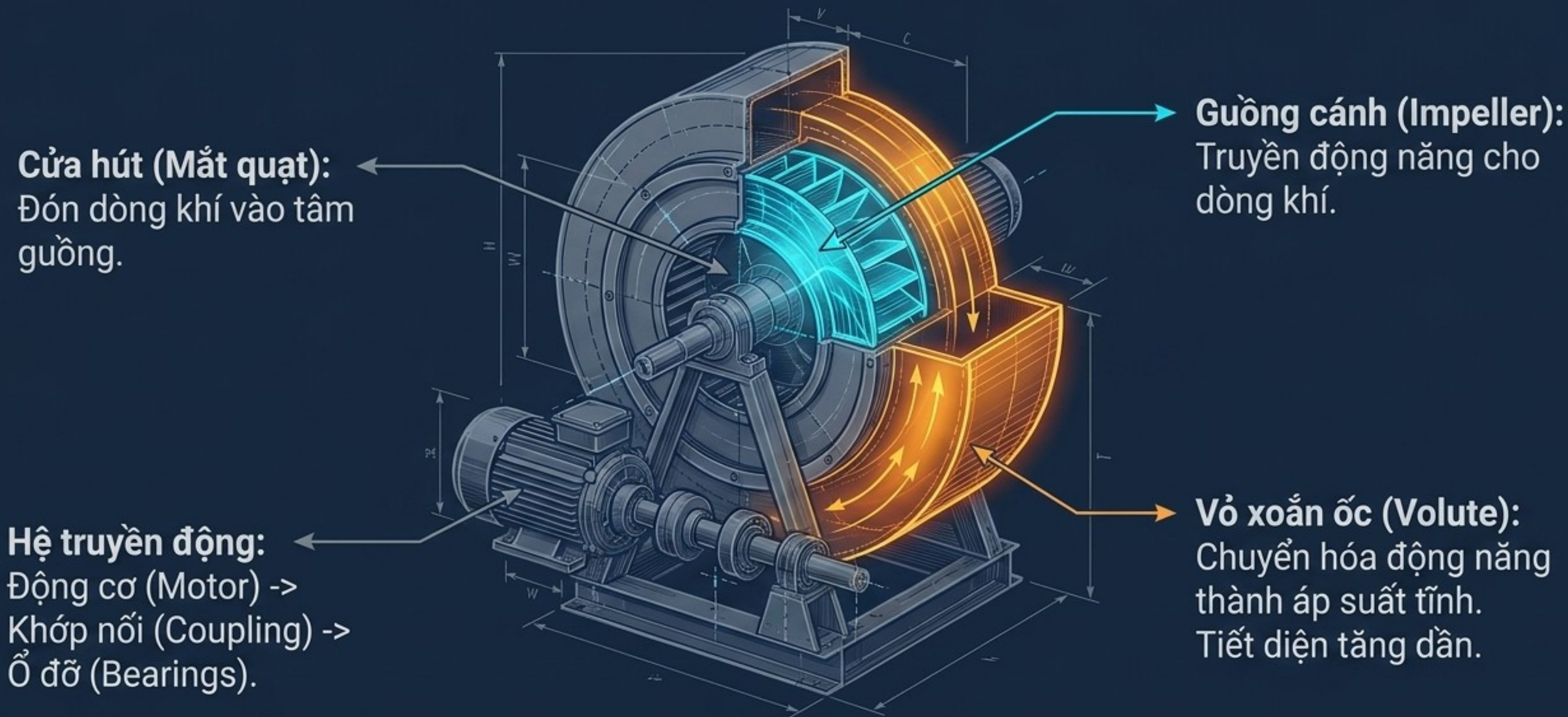
Quạt Hướng trục (Axial)



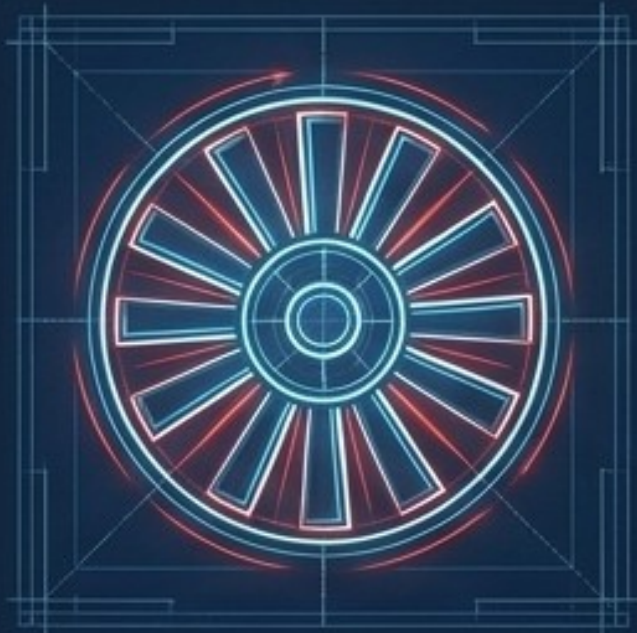
- Dòng khí đi thẳng theo trục
- Lưu lượng cực lớn
- Áp suất thấp

Ứng dụng: Quạt làm mát clinker (5-15 quạt), Thông gió không gian lớn.

Cấu phần Quạt Ly tâm: Các Thành phần Trọng yếu



Biên dạng Cánh quạt: Cân bằng giữa Hiệu suất & Độ bền



Cánh hướng kính (Radial)

Đặc tính: Độ bền cao nhất, chống bám bụi bẩn tốt.

Hiệu suất: Trung bình (55-65%).



Cánh cong về trước (Forward-curved)

Đặc tính: Lưu lượng lớn, áp thấp, kích thước nhỏ gọn.

Hiệu suất: Thấp (Dễ bị quá tải mô-men).



Cánh cong về sau (Backward-curved)

Đặc tính: Vận hành ổn định, không quá tải, chịu hao mòn tốt.

Hiệu suất: Cao (Thường dùng cho Quạt ID).

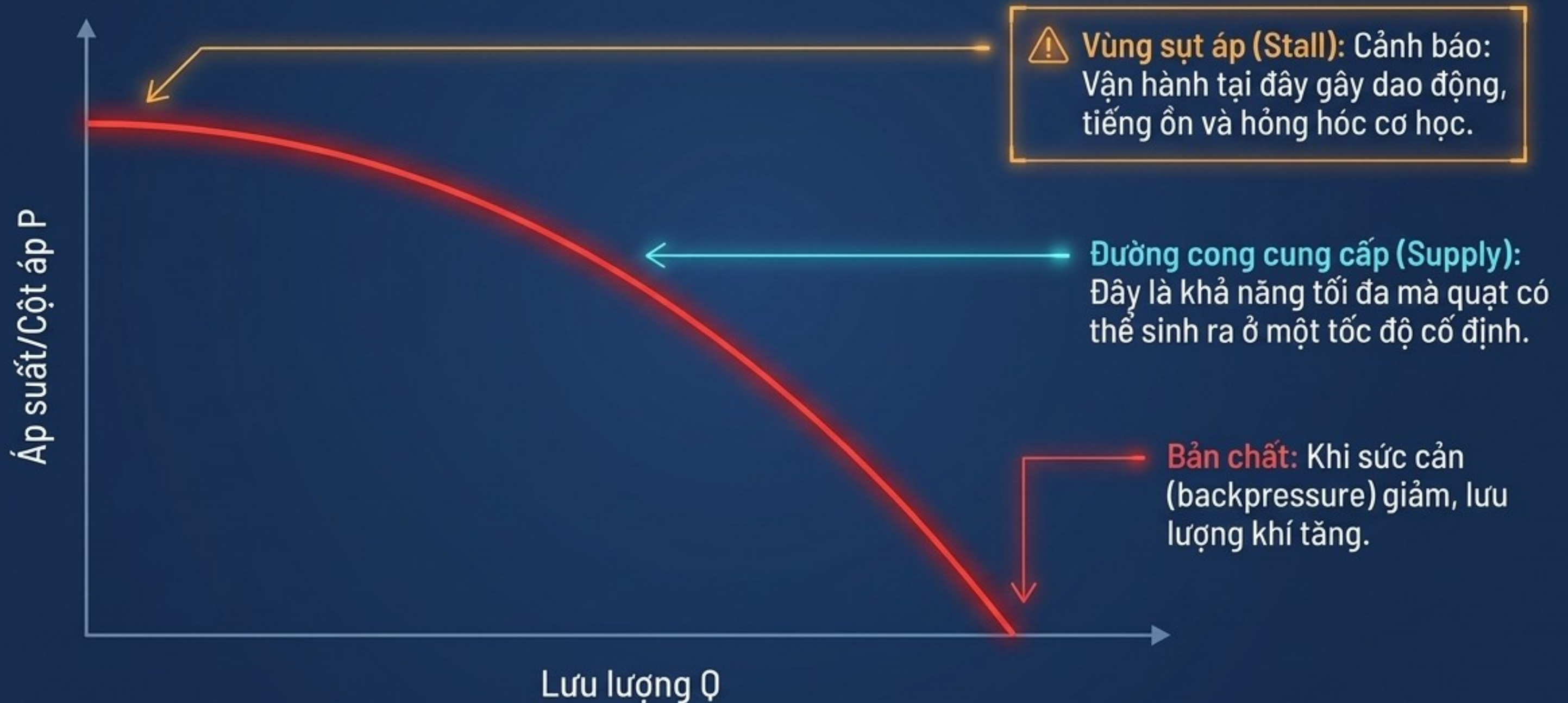


Cánh Airfoil (Khí động học)

Đặc tính: Độ ồn thấp nhất, nhạy cảm với bụi mài mòn.

Hiệu suất: Cao nhất (lên tới 85%+).

Dịch thuật Phần cứng thành Dữ liệu: Đường Đặc tính Quạt

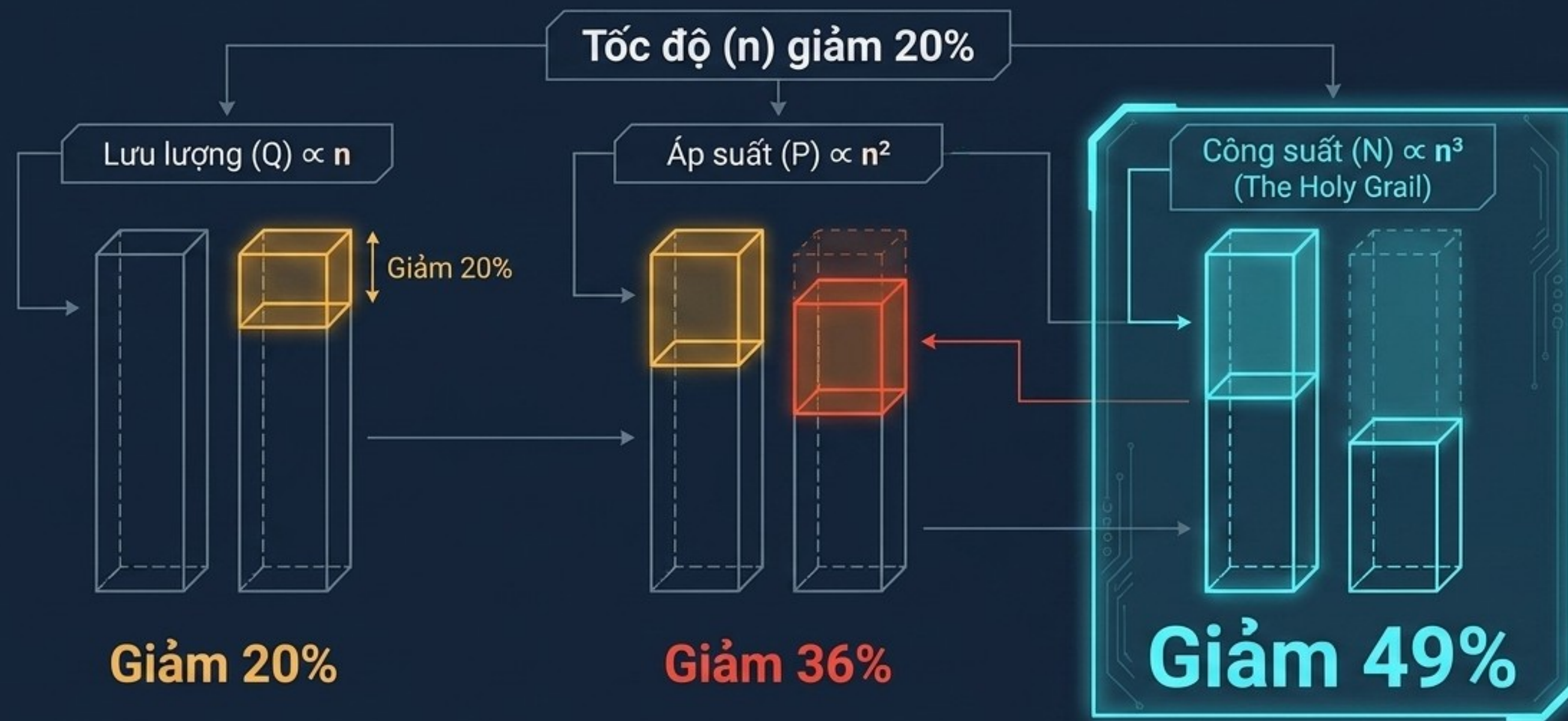


Sự Giao thoa giữa Cung và Cầu: Điểm Làm việc



Key Insight: Hệ thống sẽ luôn luôn tự động tìm đến điểm giao cắt này. Muốn thay đổi lưu lượng, ta phải can thiệp vào một trong hai đường cong.

Lực bầy của Vật lý: Định luật Đồng dạng (Fan Laws)



Giảm một chút tốc độ mang lại mức tiết kiệm điện năng khổng lồ.
Đây là nền tảng của bài toán tối ưu.

Bài toán Thực tế: Yêu cầu Lưu lượng Luôn Biến động

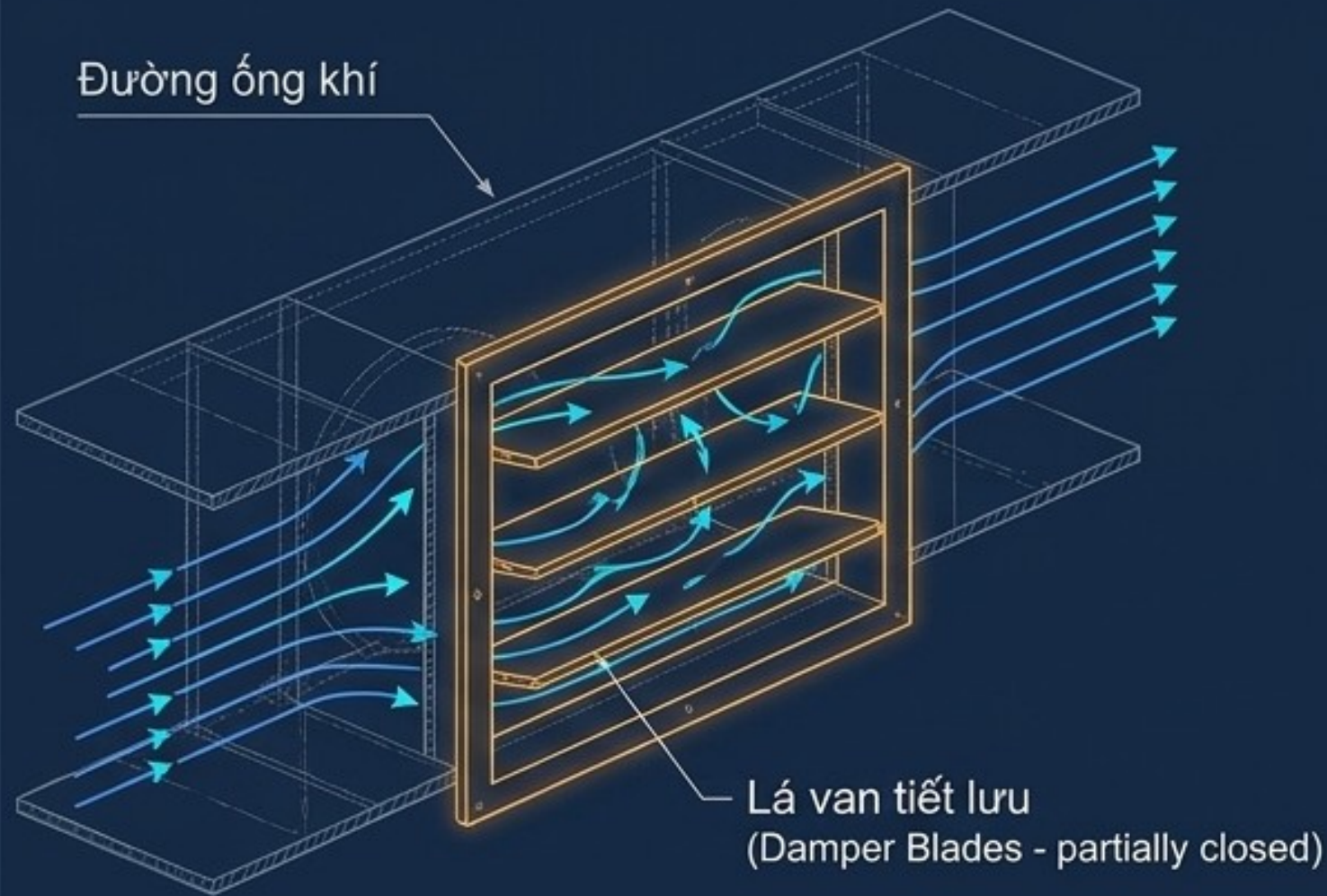


Khi nhu cầu lưu lượng giảm, làm thế nào để dời “Điểm làm việc” một cách hiệu quả nhất?

1. Can thiệp vào Đặc tính hệ thống
→ Van tiết lưu (Dampers)

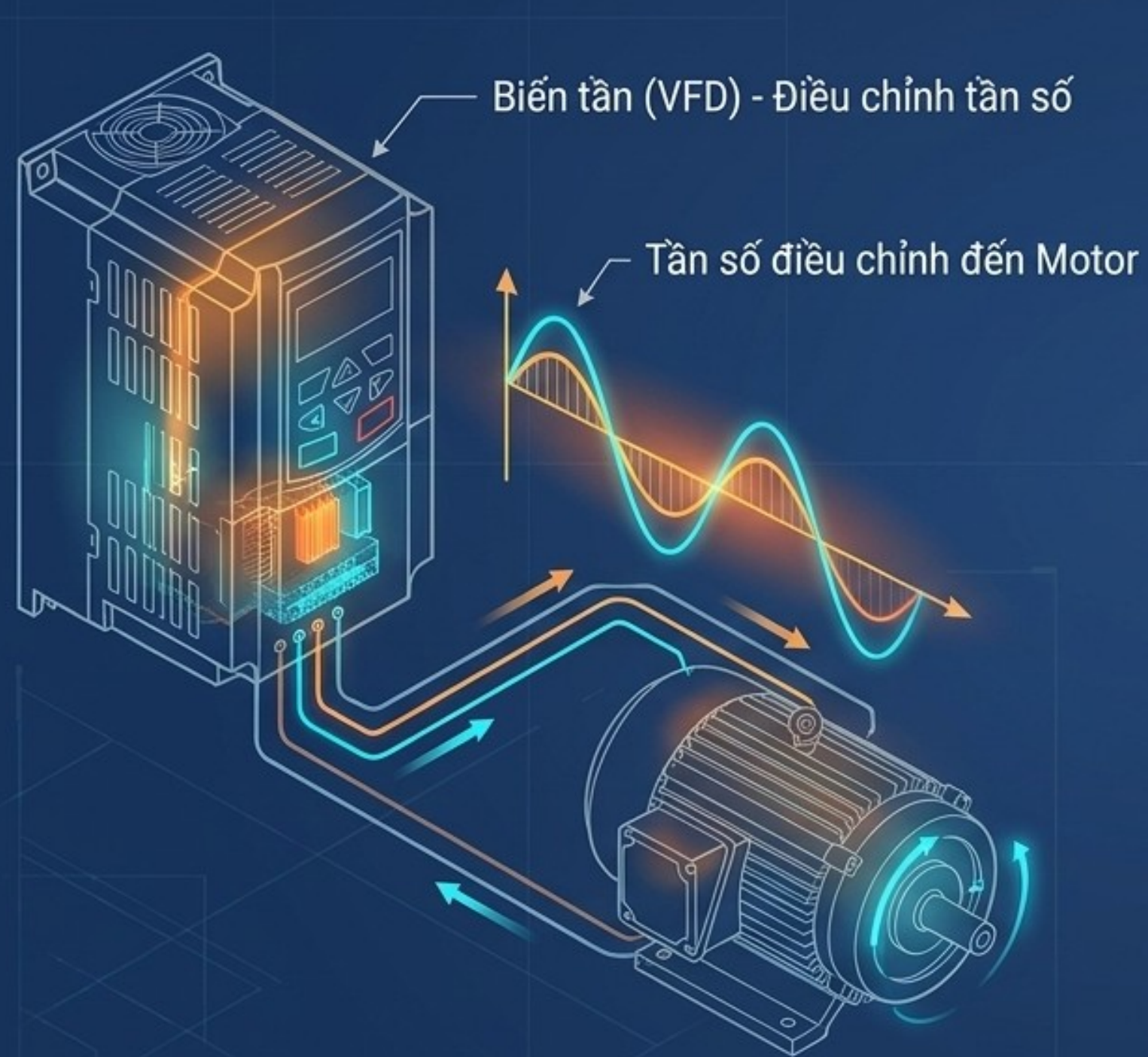
2. Can thiệp vào Đặc tính quạt
→ Biến tần (VFDs)

Phương pháp Truyền thống: Van Tiết lưu (Damper)



- **Cơ chế:** Van tiết lưu đóng lại → Tăng sức cản hệ thống → Đường đặc tính hệ thống dốc lên → Điểm làm việc dịch sang trái.
- **Hậu quả:** Quạt vẫn chạy ở tốc độ tối đa, năng lượng bị tiêu tán dưới dạng nhiệt và rung động qua van. Hiệu suất cực kỳ thấp ở chế độ tải nhẹ.

Phương pháp Hiện đại: Tối ưu với Biến tần (VFD)

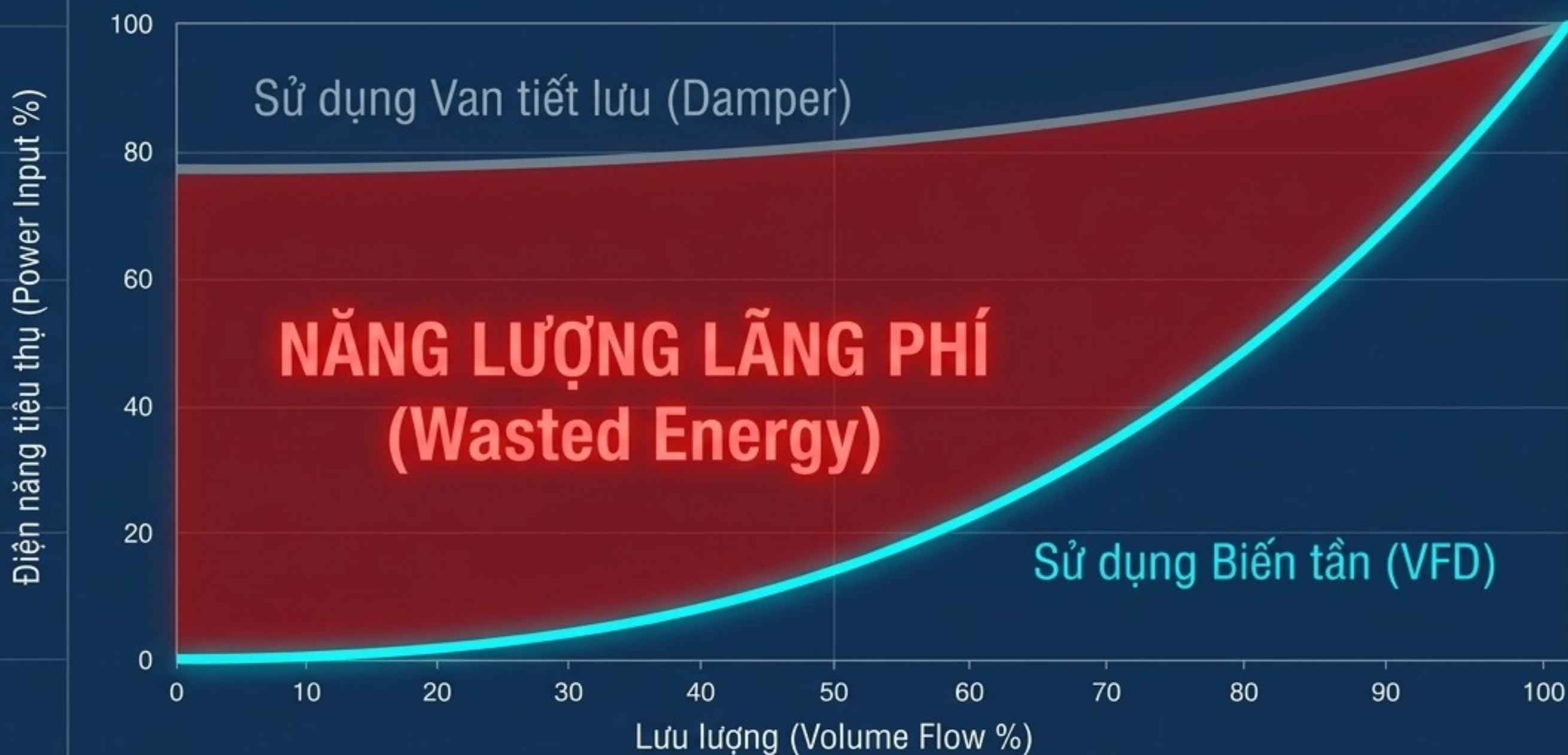


Cơ chế: Biến tần giảm tần số điện → Giảm tốc độ quay của quạt → Đường đặc tính quạt hạ thấp xuống.

Hiệu quả: Áp dụng triệt để Định luật Đồng dạng (Công suất giảm theo bậc 3 của tốc độ).
Quạt chỉ tiêu thụ chính xác lượng điện cần thiết cho tải yêu cầu.

$$P \sim N^3$$

Trực quan hóa Sự lãng phí (The Wasted Energy Map)



Kết luận: Ở mức 80% lưu lượng, dùng van tiết lưu tốn ~85% điện năng, trong khi dùng biến tần chỉ tốn ~50% điện năng.

Kẻ thù Vô hình: Khắc nghiệt của Môi trường Thực tế



Thách thức Cơ bản:

- **Nhiệt độ:** Lên tới $350-380^{\circ}\text{C}$ (Giảm mật độ khí, giãn nở nhiệt).
- **Bụi mài mòn:** Silicat, oxit kim loại, vôi sống lao vào cánh quạt với tốc độ cao.

Hệ lụy Khí động học:

Sự xói mòn (Erosion) làm thay đổi biên dạng cánh, phá vỡ hiệu suất khí động học lý tưởng đã được tính toán trên giấy.

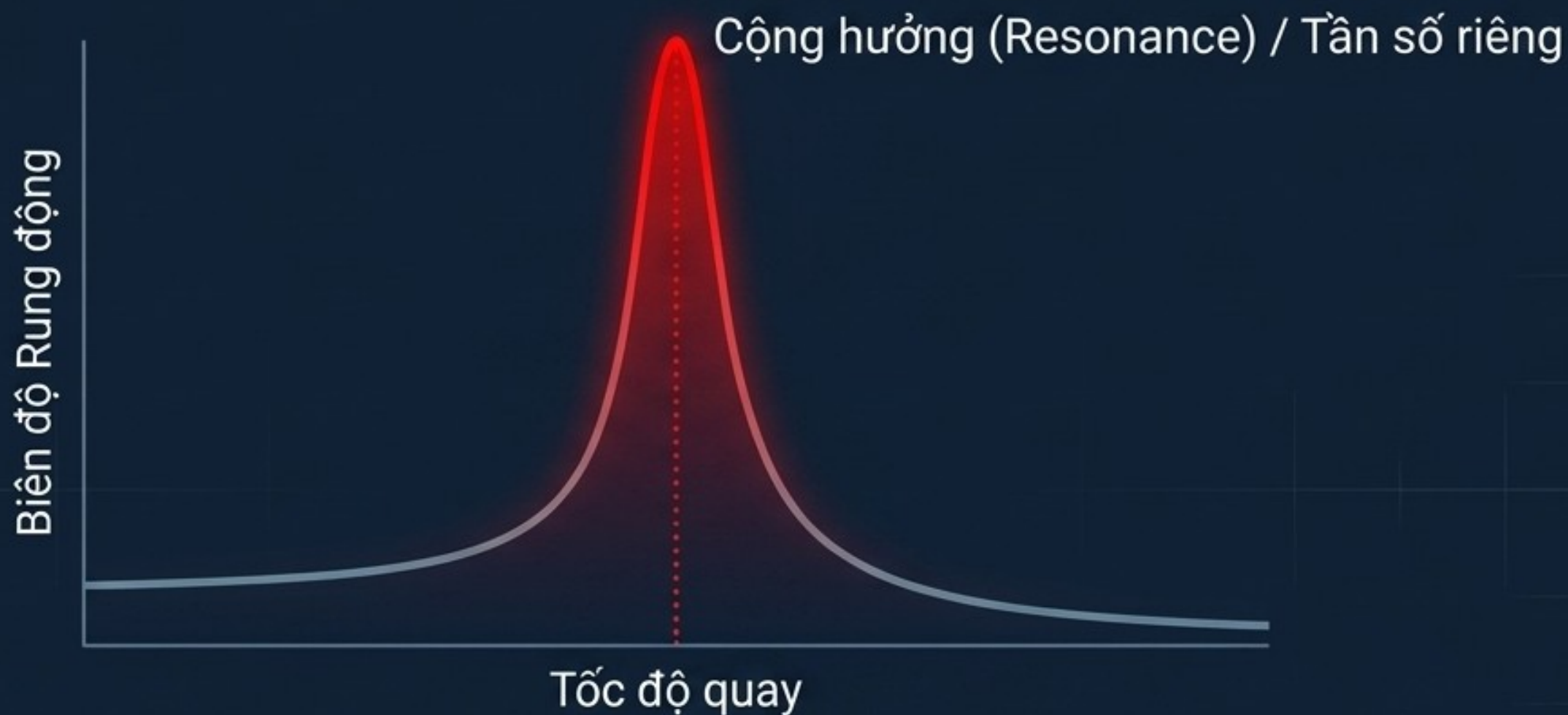
Sự bám dính (Material buildup) gây mất cân bằng khối lượng.

Phản ứng Dây chuyền: Chuỗi Tiến triển Hư hỏng



Rung động chính là tiếng nói của thiết bị.
Giám sát rung động bảo vệ tài sản hàng tỷ đồng.

Lưu ý Kỹ thuật khi Dùng Biến tần: Điểm Cộng hưởng



Mọi hệ thống cơ khí đều có Tần số riêng. Khi dùng VFD để thay đổi tốc độ liên tục, có nguy cơ tốc độ quay trùng với tần số này. Biên độ rung động tăng vọt có thể xé toạc thiết bị.

Giải pháp: Cài đặt “**Vùng bỏ qua**” (Skip Frequencies) trên Biến tần để mô-tơ tự động nhảy qua và không bao giờ dừng lại ở các dải tốc độ nguy hiểm này.

Ca Thực tế: Nội địa hóa & Nâng cấp Quạt ID

Bối cảnh: Thay thế quạt nhập khẩu bằng thiết kế nội địa (TOMECO & ĐH Bách Khoa) sử dụng mô phỏng CFD tối ưu vỏ xoắn và biên dạng cánh.

Năng lực Sản xuất

Tăng từ 1500 lên 1700 tấn clinker/ngày

Tiết kiệm Năng lượng

Giảm 8–15% điện năng tiêu thụ

Độ bền & Vật liệu

Ứng dụng thép đặc chủng (Hardox/Xar) chịu mài mòn, chịu nhiệt tới 380°C. Chống rung động xuất sắc.

Khung Tối ưu Tổng thể (The Path to Peak Efficiency)

