BỘ CÔNG THƯƠNG

CHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN DỊCH NĂNG LƯỢNG BỀN VỮNG VIỆT NAM - EU (SETP)
EU - VIET NAM SUSTAINABLE ENERGY TRANSITION PROGRAMME (SETP)

Global Gateway

Funded by the European Union

TỔ CHỨC PHÁT TRIỂN CÔNG NGHIỆP LIÊN HỢP QUỐC

Dự án "Đẩy mạnh hoạt động tiết kiệm năng lượng trong các doanh nghiệp công nghiệp lớn thông qua hệ thống quản lý năng lượng và tối ưu hóa hệ thống và thực hành TKNL trong các DNVVN tại Việt Nam" (IEEP)

CHƯƠNG TRÌNH ĐÀO TẠO
TỐI ƯU HOÁ HỆ THỐNG ĐỘNG CƠ

Hà Nội, 25 - 26/09/2025

CHƯƠNG TRÌNH ĐÀO TẠO
TỐI ƯU HOÁ HỆ THỐNG ĐỘNG CƠ

Từ 25 đến 26/09/2025

Khách sạn Adonis - 55 Quang Trung, P. Hai Bà Trưng, Hà Nội

Ngày 1

Thời gian	Nội dung	Người trình bày
8.00 - 8.30	Đăng ký học viên	
8.30 - 8.40	Phát biểu khai mạc	Đại diện Văn phòng Dự án IEEP
8.40 - 10.00	**Phần 1: Tổng quan về hệ thống động cơ trong công nghiệp** - Tầm quan trọng của động cơ điện trong tiêu thụ năng lượng công nghiệp - Các loại động cơ phổ biến và ứng dụng - Tổng quan về tổn thất năng lượng trong hệ thống truyền động	Chuyên gia quốc tế
10.00 - 10.15	**Nghỉ giữa giờ**	
10.15 - 12.00	**Phần 2: Nguyên lý vận hành và hiệu suất động cơ điện** - Hiệu suất động cơ và các cấp hiệu suất (IE1–IE4) - Tổn thất trong động cơ và ảnh hưởng của tải trọng - Đường đặc tính và hiệu suất theo tải	Chuyên gia quốc tế
12.00 - 13.15	**Ăn trưa tại khách sạn**	Toàn bộ lớp học
13.15 - 15.00	**Phần 3: Thành phần của hệ thống truyền động** - Máy bơm, quạt, máy nén – mối liên hệ với động cơ - Ảnh hưởng của phụ tải, hệ truyền động, điều khiển - Đường đặc tính hệ thống và điểm làm việc	Chuyên gia quốc tế
15.00 - 15.15	**Nghỉ giữa giờ**	
15.15 - 16.45	**Phần 4: Phân tích hiệu suất hệ thống động cơ** - Các chỉ số đánh giá: tải phần trăm, độ lệch tải, công suất tiêu thụ - Cách thu thập và phân tích dữ liệu vận hành - Thực hành: Đọc kết quả đo và nhận diện cơ hội tiết kiệm	Chuyên gia quốc tế

Ngày 2

Thời gian	Nội dung	Người trình bày
8.00 - 8.30	Đăng ký học viên	
8.30 - 9.00	- Hỏi đáp - Tổng kết lại kiến thức của Ngày 1	Chuyên gia quốc tế
9.00 - 10.00	**Phần 5: Giới thiệu và cài đặt phần mềm MSO Tool** - Mục đích và cấu trúc công cụ MSO - Giao diện phần mềm và các module chính	Chuyên gia quốc tế
10.00 - 10.15	**Nghỉ giữa giờ**	
10.15 - 12.00	**Phần 6: Phân tích chi tiết với MSO Tool** - Thực hành: Nhập thông số kỹ thuật và dữ liệu đo lường - Xác định tải trọng, hiệu suất, tổn thất - Đánh giá tiềm năng tiết kiệm năng lượng	Chuyên gia quốc tế
12.00 - 13.15	**Ăn trưa tại khách sạn**	Toàn bộ lớp học
13.15 - 15.00	**Phần 7: Đề xuất giải pháp tối ưu hóa hệ thống** - Thay thế động cơ hiệu suất cao - Ứng dụng biến tần (VSD/VFD) - Tối ưu hóa hệ truyền động và bảo trì	Chuyên gia quốc tế
15.00 - 15.15	**Nghỉ giữa giờ**	
15.15 - 16.30	**Phần 8: Bài tập thực hành tổng hợp (Case study)** - Phân tích một hệ thống động cơ thực tế - Thực hành sử dụng MSO Tool để đưa ra giải pháp - Tính toán chi phí đầu tư và lợi ích tiết kiệm	Chuyên gia quốc tế
16.30 - 16.45	**Phần 9: Tổng kết** - Rút ra bài học & điểm lưu ý khi triển khai thực tế - Gợi ý công cụ hỗ trợ: MEASUR, MotorMaster+, VSD toolkit - Đánh giá và phản hồi về khóa học	Đại diện Văn phòng dự án IEEP, Chuyên gia quốc tế

ĐÀO TẠO DOANH NGHIỆP
TỐI ƯU HÓA HỆ THỐNG ĐỘNG CƠ

(Người trình bày: Siraj Williams)

Chào mừng…

- Tên
- Tổ chức
- Kinh nghiệm quản lý năng lượng
- Bạn mong muốn học được gì trong những buổi đào tạo này?

Lời cảm ơn

UNIDO (Tổ chức Phát triển Công nghiệp Liên Hợp Quốc)

- Marco Matteini, Vienna

Tác giả chính

- Giáo sư Anibal T de Almeida, Bồ Đào Nha
- Tiến sĩ Hugh Falkner, Vương quốc Anh

Mục tiêu khóa học

Tại sao chúng ta ở đây?

Học hỏi lẫn nhau và chia sẻ kinh nghiệm cũng như kiến thức chuyên môn

Nắm vững kiến thức cơ bản về hệ thống truyền động sử dụng động cơ điện

Nắm bắt một cách có hệ thống các phương pháp đánh giá và tối ưu hóa hệ thống truyền động bằng động cơ điện

Đề cương khóa học – Đào tạo doanh nghiệp

1. Tổng quan về UNIDO
2. Giới thiệu về tối ưu hóa động cơ (MSO)
3. Cách tiếp cận hệ thống
4. Công nghệ động cơ điện
5. Tiêu chuẩn động cơ điện
6. Lựa chọn động cơ mới
7. Vận hành và điều khiển động cơ
8. Bơm
9. Quạt
10. Khí nén
11. Ứng dụng khác
12. Chất lượng điện năng và hệ số công suất
13. Hệ thống truyền động cơ khí
14. Bảo trì và sửa chữa
15. Thực hiện đánh giá MSO
16. Các công cụ phần mềm
17. Xây dựng các trường hợp kinh doanh cho MSO
18. eMobility và lưới điện thông minh
19. Hướng dẫn đào tạo MSO

Phần 1

Tổng quan về UNIDO

Các mục tiêu phát triển bền vững của UNIDO

Mục tiêu của chương trình hiệu quả năng lượng trong công nghiệp (IEE) của UNIDO

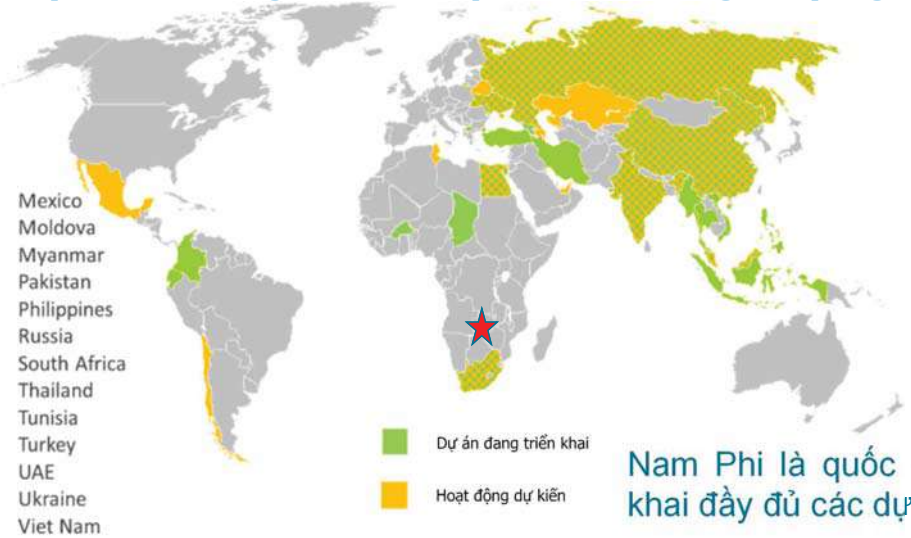
Làm việc cùng các đối tác và các bên liên quan để:

- Tăng cường các khuôn khổ chính sách và quy định để đạt hiệu suất năng lượng (EE) tốt hơn và bền vững trong công nghiệp
- Đẩy nhanh việc áp dụng và phổ biến rộng rãi các công nghệ và thực tiễn tốt nhất về hiệu quả năng lượng trong công nghiệp (IEE)
- Tiết kiệm năng lượng và giảm phát thải khí nhà kính (GHG) của ngành công nghiệp
- Tích hợp EE vào các hoạt động kinh doanh hàng ngày của ngành công nghiệp để tăng năng suất và khả năng cạnh tranh một cách bền vững

Danh mục chương trình hiệu quả năng lượng của UNIDO

30 Quốc gia

Armenia
Belarus
Burkina Faso
Chad
Chile
China
Colombia
Ecuador
Egypt
Georgia
Kazakhstan
India
Indonesia
Iran
Macedonia
Malaysia
Maldives
Mexico
Moldova
Myanmar
Pakistan
Philippines
Russia
South Africa
Thailand
Tunisia
Turkey
UAE
Ukraine
Viet Nam



Nam Phi là quốc gia đầu tiên triển khai đầy đủ các dự án được đề xuất

Tác động từ chương trình UNIDO-GEF EnMS-ISO 50001- ESO

7,500 GWh
Năng lượng cuối cùng tiết kiệm

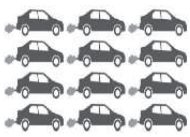
=

Mức tiêu thụ năng lượng hàng năm của 1.230.000 hộ gia đình tại EU

Hoặc

Sản lượng điện trong 5 năm của 400 tuabin gió 1 MW

Hoặc



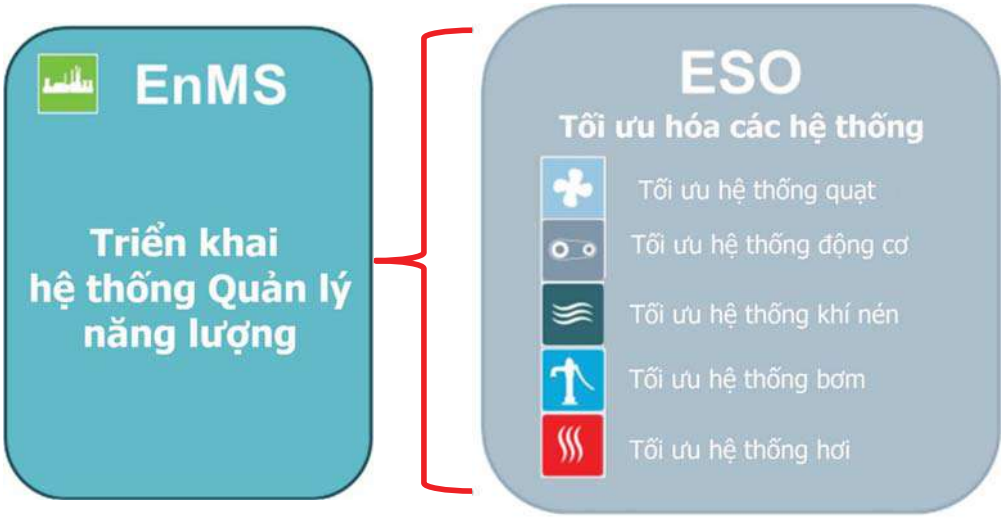
Tương đương lượng phát thải CO_2 của 1.875.000 ô tô hạng trung (chạy 12,500 km mỗi năm)

- Trong 1–2 năm đầu, các tổ chức có thể đạt được mức tiết kiệm năng lượng từ 4% đến 15% trên phạm vi toàn hệ thống, mà chỉ cần rất ít hoặc gần như không cần vốn đầu tư ban đầu
- Tổng mức tiết kiệm chi phí tích lũy của các doanh nghiệp thụ hưởng ước tính vượt quá **250 triệu USD**, chưa tính đến các lợi ích phi năng lượng
- Giảm phát thải trực tiếp khí nhà kính tương đương hơn **4,8 triệu tCO_2**
- Một danh mục đầu tư bền vững về Hiệu quả năng lượng công nghiệp (IEE) đã được xây dựng

Phần 2

Giới thiệu về Tối ưu hóa động cơ (MSO)

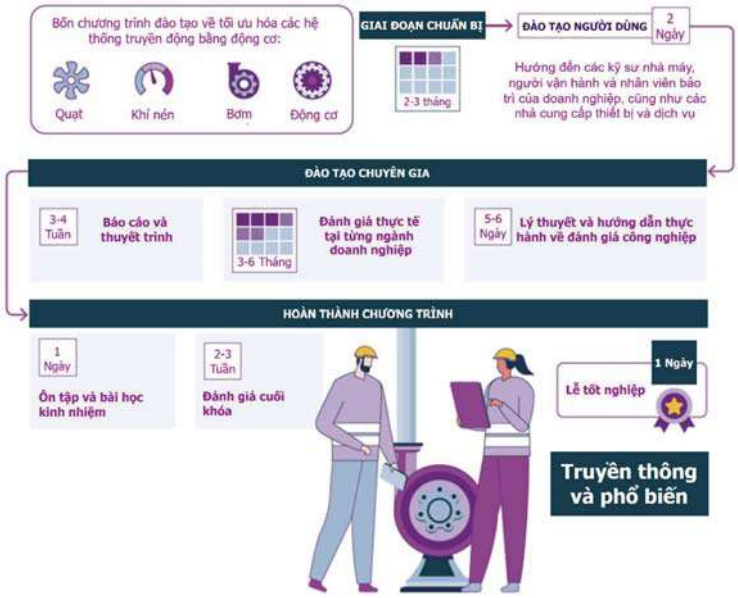
Mối quan hệ giữa EnMS và ESO's



Chu trình đào tạo MSO

Các yếu tố chính:

- Lớp đào tạo người sử dụng
- Lớp đào tạo chuyên gia và trình diễn tại hiện trường
- Đánh giá riêng cho từng ngành công nghiệp cụ thể
- Bài kiểm tra cuối khóa



Tại sao chúng ta sử dụng động cơ điện?

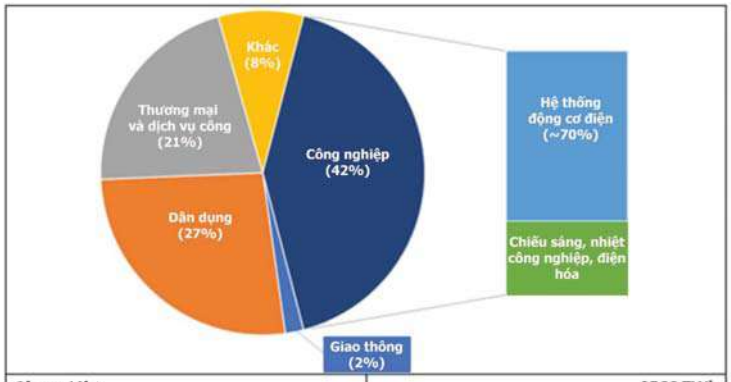
Để truyền động cho một ứng dụng cơ khí

(luôn được liên kết với một cơ cấu nhằm tạo ra chuyển động để sinh công)

Nhưng...

- Động cơ tốn chi phí lắp đặt và bảo trì
- Động cơ tiêu thụ năng lượng, trong khi nguồn cung năng lượng hiện nay đang bị hạn chế

Tại sao chúng ta tập trung vào động cơ điện?

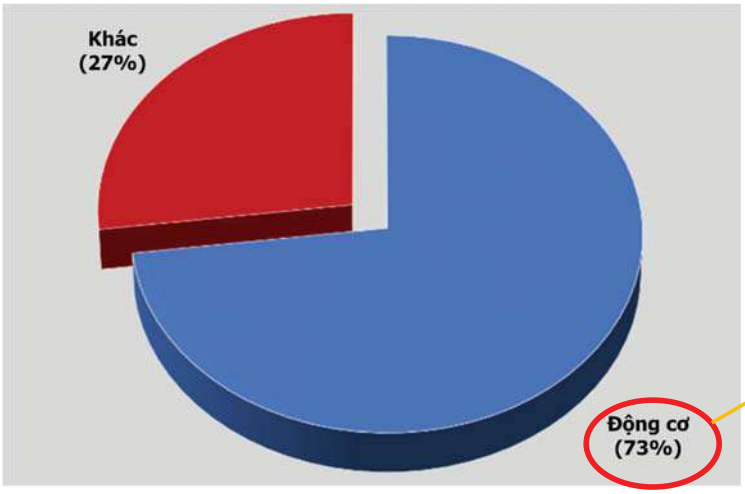


Công nghiệp	9566 TWh
Giao thông vận tải	420 TWh
Dân dụng	6072 TWh
Thương mại và dịch vụ công	4849 TWh
Khác (Nông nghiệp và đánh bắt thủy sản)	1940 TWh
Tổng	22,847 TWh

IEA (2019):

- 53% lượng điện trên thế giới sử dụng cho các hệ thống động cơ điện (12,100 TWh)
- Tương đương lượng phát thải 6 Gton CO_2eq

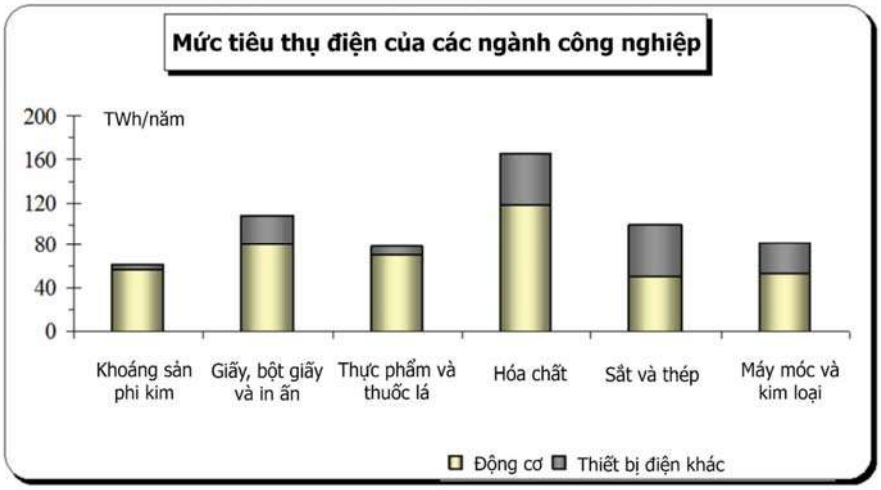
Động cơ điện trong công nghiệp



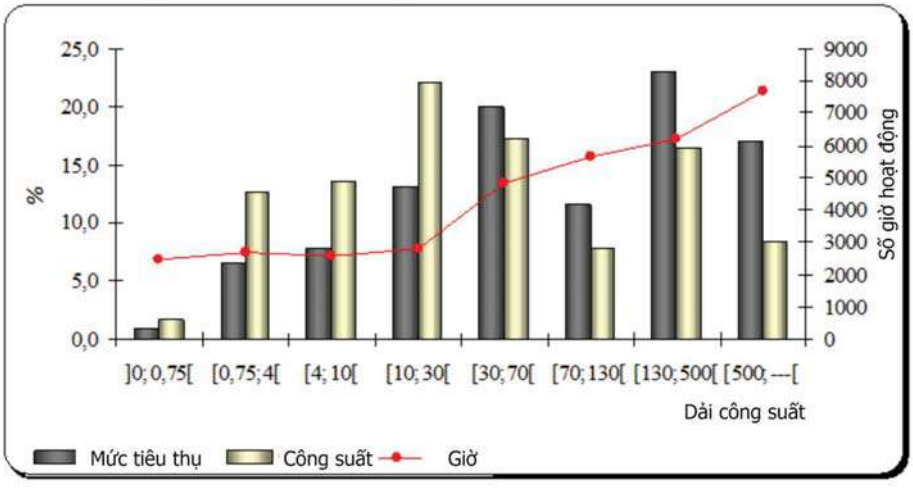
Mức tiêu thụ điện năng trong khu vực công nghiệp của Liên minh Châu Âu
Nguồn: ISR – Đại học Coimbra (2012)"

Động cơ điện trong công nghiệp

Mức tiêu thụ điện của hệ thống động cơ theo từng ngành công nghiệp (2000)

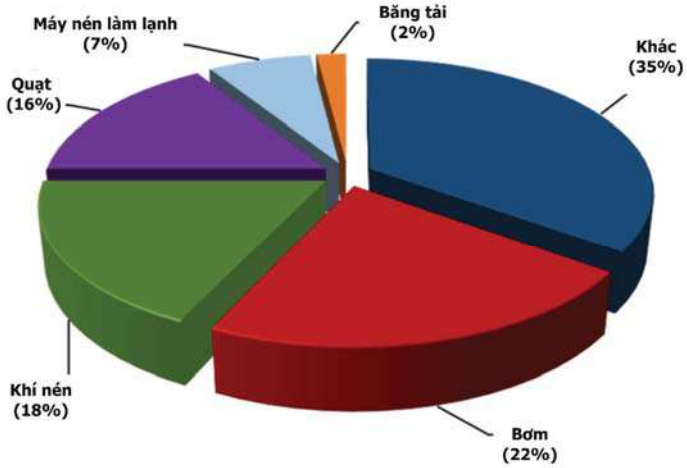


Tiêu thụ điện năng của hệ thống động cơ theo dải công suất động cơ



Tiêu thụ điện năng của hệ thống động cơ theo ứng dụng

Máy bơm, quạt và máy nén khí chiếm 56% các ứng dụng công nghiệp

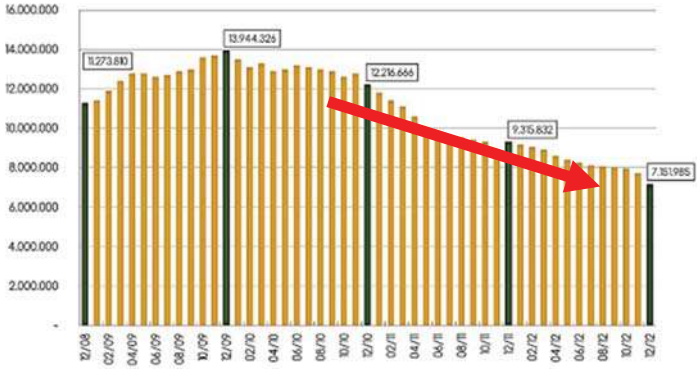


Tiêu thụ điện năng trong ngành công nghiệp của Liên minh Châu Âu
Nguồn: ISR – Đại học Coimbra (2012)

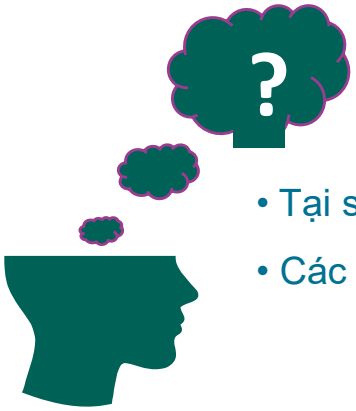
Mục tiêu của MSO

Tại sao chúng ta ở đây?

- Các hệ thống động cơ trong môi trường công nghiệp và thương mại trong hầu hết các trường hợp đều có thể được **tối ưu hóa**
- Cải thiện hiệu suất năng lượng sẽ dẫn đến **giảm** chi phí năng lượng



Đánh giá & Thảo luận

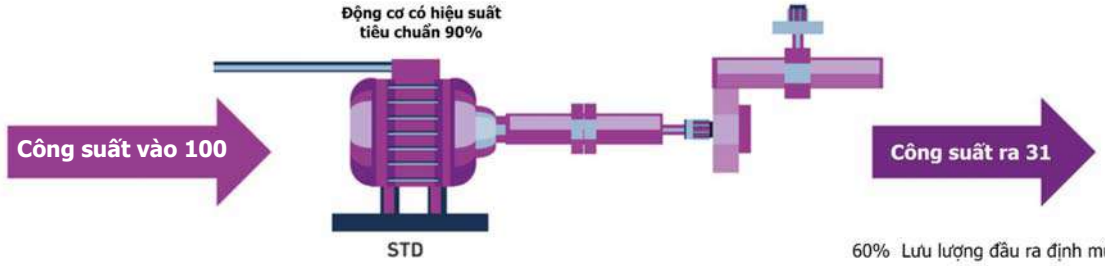


- Tại sao chúng ta quan tâm đến tối ưu hóa hệ thống động cơ?
- Các tải cơ khí nào là ứng dụng phổ biến nhất của động cơ?

Phần 3

Động cơ: Cách tiếp cận hệ thống

Nghiên cứu: Động cơ điện trong hệ thống bơm



- Động cơ đang vận hành ở tốc độ tối đa và dẫn động máy bơm.
- Máy bơm đang cung cấp chất lỏng cho quá trình sản xuất.
- Quá trình yêu cầu 31 đơn vị công suất.
- Van tiết lưu được sử dụng để điều chỉnh lưu lượng ở mức 60% công suất cực đại của bơm và được vận hành thủ công bởi người điều khiển.
- Động cơ có hiệu suất 90%.

Nguồn: de Almedia, A&Ferreira, F&Both, D 2004

How efficient is the **system**?

Hiệu suất của hệ thống động cơ điện

Động cơ:

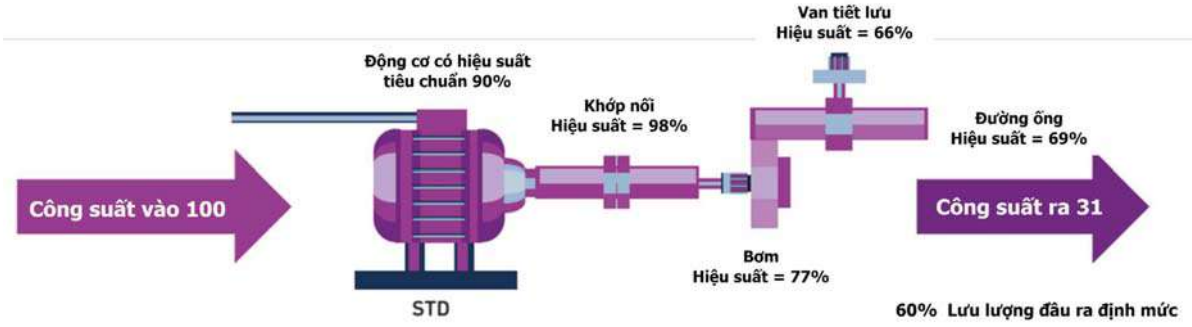
$$\eta_{MOTOR} = \frac{P_{OUTPUT\ (USEFUL)}}{P_{INPUT}} = \frac{P_{SHAFT}}{P_{ELECTRICAL}} \qquad (P_{SHAFT} = T \cdot \omega)$$

Hệ thống:

$$\eta_{system} = \eta_{VSD} \cdot \eta_{motor} \cdot \eta_{transmission} \cdot \eta_{end-use} = \frac{P_{useful}}{P_{input}}$$

Với,
η – hiệu suất ; P – Công suất; T – Mô-men; ω – Tốc độ quay; VSD – Bộ biến đổi tốc độ

Nghiên cứu: Động cơ điện trong hệ thống bơm



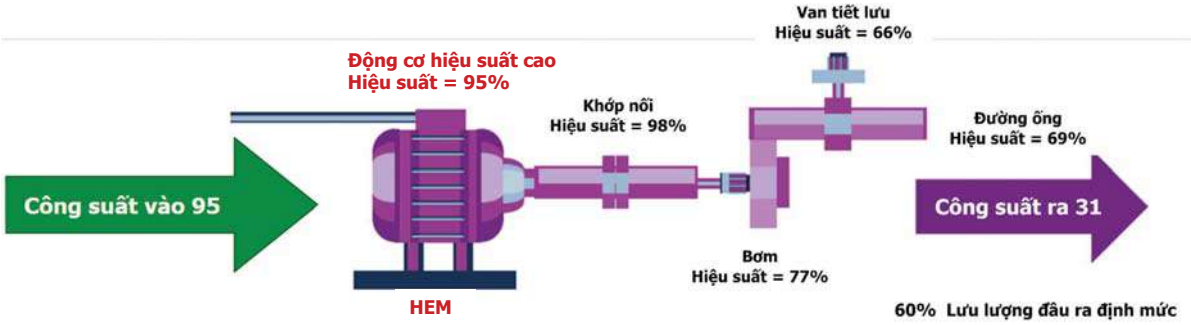
Hiệu suất của hệ thống là tích hiệu suất của các thành phần riêng lẻ

- Hiệu suất (η) = η_{motor} * $\eta_{coupling}$ * η_{pump} * $\eta_{throttle}$ * η_{pipe}

  = 90% * 98% * 77% * 66% * 69% = **31%**

Như vậy có phù hợp ?

Nghiên cứu: Chỉ cải thiện hiệu suất động cơ

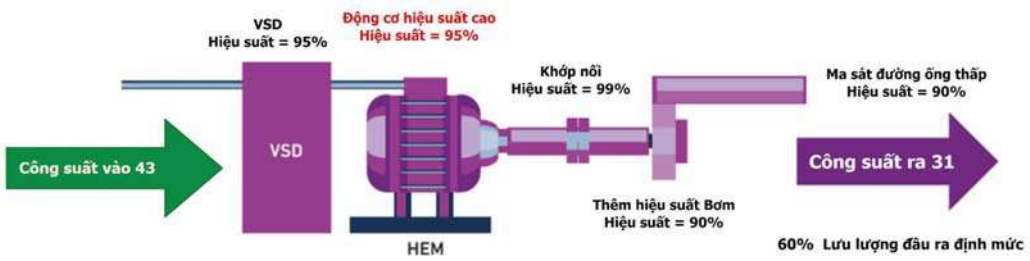


Hiệu suất mới (η) = η_{motor} * $\eta_{coupling}$ * η_{pump} * $\eta_{throttle}$ * η_{pipe}

= 95% * 98% * 77% * 66% * 69% = **32.6%**

Như vậy có phù hợp ?

Nghiên cứu: Cải thiện hiệu suất toàn bộ thành phần hệ thống



- Thay van tiết lưu bằng VSD
- Lắp đặt động cơ điện hiệu suất cao
- Cải thiện khớp nối truyền động
- Lắp đặt bơm hiệu suất cao hơn
- Lắp đặt đường ống có ma sát thấp

Hiệu suất mới của hệ thống (η) = **72%**

Chúng tôi đã tạo ra một nhà máy điện ảo trị giá 57 đơn vị công suất

Tối ưu hóa: Sử dụng phương pháp tiếp cận hệ thống

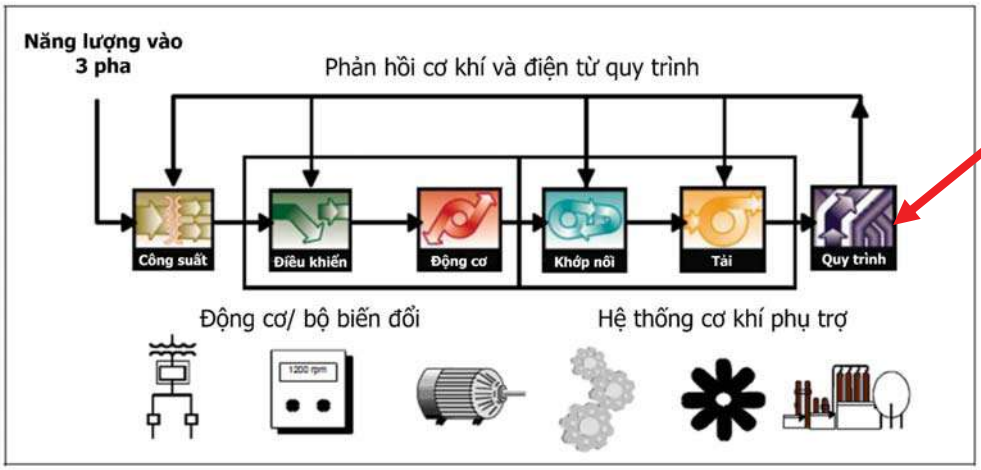
• Sử dụng phương pháp tiếp cận hệ thống, thường có thể đạt được mức tiết kiệm từ 5-40%.

• Ở cấp độ thành phần, việc chỉ thay thế động cơ bằng một động cơ hiệu suất cao hơn thường chỉ mang lại khoảng 1-4%.

Chúng ta sẽ bắt đầu từ đâu ?

- Trước tiên, đánh giá nhu cầu tải
- Đánh giá toàn bộ hệ thống, xác định cơ hội cải thiện với chi phí thấp trong hệ thống
- Cuối cùng, đánh giá động cơ và bộ chuyển động của hệ thống

Hệ thống động cơ điện



Bắt đầu từ đây

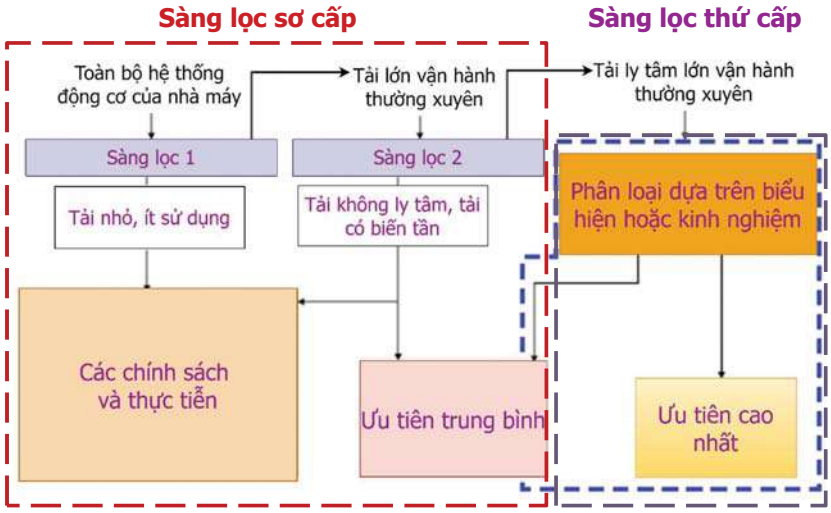
Text

Chọn 20 hệ thống động cơ hàng đầu

Lý tưởng là tạo ra một danh sách từ 10-20 hệ thống động cơ để xem xét

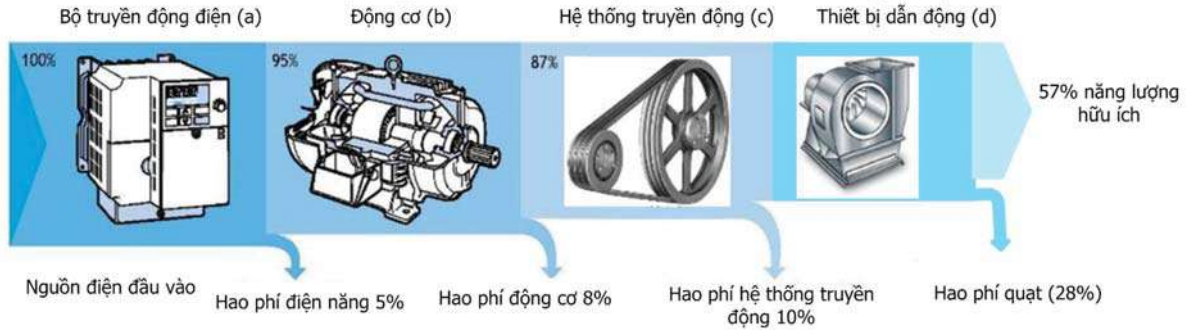
Dành 30-60 phút cho mỗi hệ thống để đánh giá và xác định mức độ ưu tiên

Sàng lọc sơ cấp và thứ cấp



Phân tích hệ thống động cơ: Bắt đầu với người dùng cuối

Tiến hành phân tích bắt đầu từ công đoạn nơi năng lượng cuối cùng được tiêu thụ, sau đó truy ngược dần về phía nguồn cung cấp



Năng lượng bị tổn hao tại mỗi khâu của chuỗi hệ thống. Cần xác định các dạng tổn thất và ưu tiên các cơ hội cải thiện có hiệu quả cao nhất

Trả lời những câu hỏi lớn

1. Hệ thống đang cố gắng đạt được mục tiêu gì?
2. Các thông số cài đặt hiện tại là gì – chúng được xác định như thế nào?
3. Đây có phải là cách tốt nhất để thực hiện không?
4. Chúng ta có thực sự cần vận hành nó mọi lúc không?

Thực hiện đánh giá hệ thống động cơ điện

- Xác định loại động cơ và đặc tính tải ứng dụng
- Xác định các yêu cầu của hệ thống
- Xác định thời gian vận hành và chi phí liên quan
- Tính toán chi phí vận hành hằng năm
- Kiểm tra phương thức vận hành và quản lý hệ thống
- Phác thảo sơ đồ hệ thống thể hiện đầy đủ các thành phần
- Xác định phương pháp điều khiển động cơ
- Xác định các vị trí có thể phát sinh tổn hao hiệu suất
- Tính toán các tổn hao (nếu có thể)
- Ước tính mức tiết kiệm tiềm năng

Hãy nhớ....Áp dụng cách tiếp cận theo hệ thống.

Một động cơ điện hiệu suất cao và việc sử dụng biến tần (VSD – Variable Speed Drive) sẽ trở nên ít giá trị nếu trong hệ thống bơm các đường ống bị tắc nghẽn, hoặc trong hệ thống khí nén có hiện tượng rò rỉ. Tương tự, nếu một động cơ chạy không tải và không cung cấp lợi ích cơ học cho đầu ra, thì năng lượng vẫn sẽ bị lãng phí, bất kể chỉ số hiệu suất của thiết bị cao đến đâu.

Các phương pháp tối ưu hóa hệ thống tập trung vào toàn bộ hệ thống động cơ, từ nguồn cấp điện đến các bộ phận điều khiển cơ khí và tất cả các khâu trung gian. Động cơ chỉ được xem là một trong nhiều cơ hội để tối ưu hóa.

Việc xác định được một chế độ cài đặt hoặc một phương thức điều khiển vận hành giúp giảm nhu cầu năng lượng trong quá trình sản xuất là điều rất phổ biến, từ đó cải thiện hiệu quả năng lượng của hệ thống động cơ điện

Đánh giá & Thảo luận

- Tại sao sử dụng phương pháp tiếp cận hệ thống?
- Nêu một số lợi ích của việc sử dụng phương pháp tiếp cận hệ thống?
- Làm thế nào để chúng ta tính toán hiệu suất hệ thống?
- Chúng ta bắt đầu từ đâu?
- Làm thế nào để chúng ta quyết định hệ thống động cơ nào cần tối ưu hóa?

Phần 4

Công nghệ động cơ

37

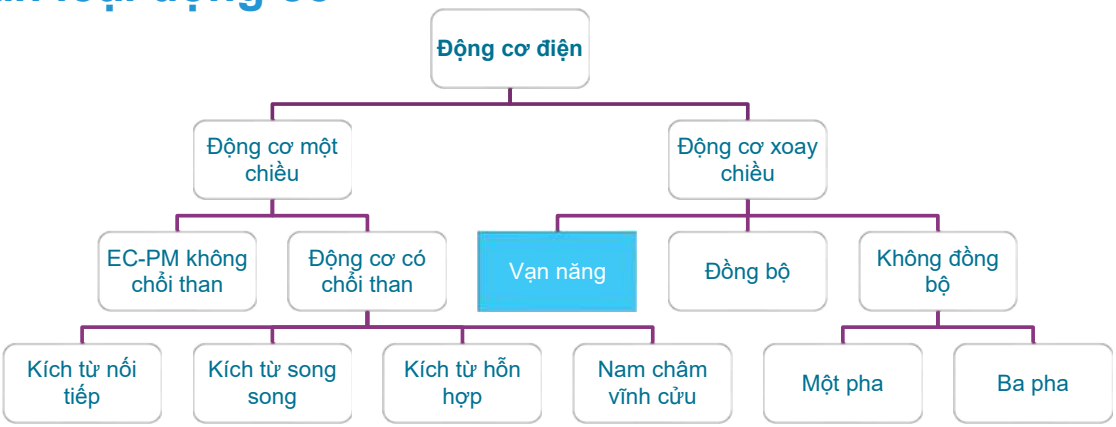
Nguyên lý hoạt động

Tất cả động cơ điện gồm 2 thành phần cơ bản:

- **Stato** (Phần tĩnh)
- **Rô-to** (Phần động)

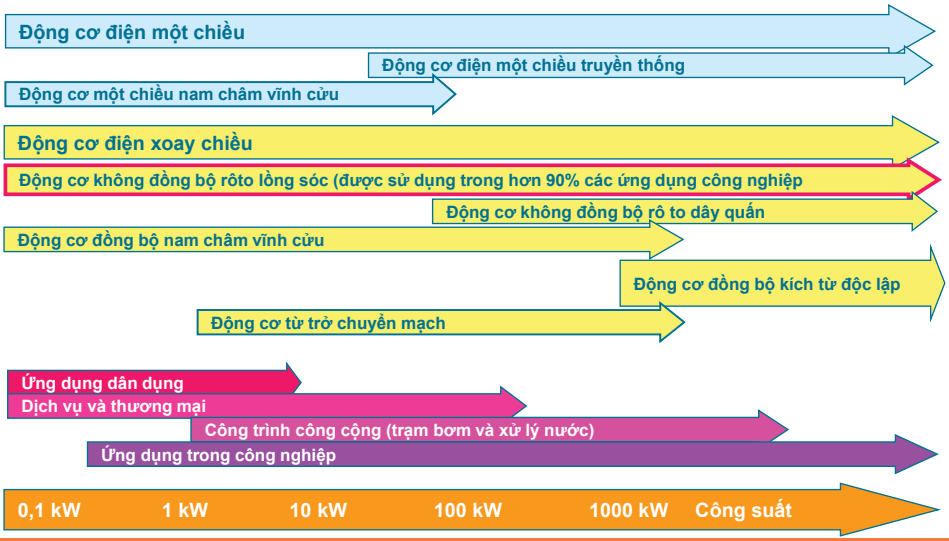
Thiết kế và chế tạo của hai bộ phận này quyết định đến phân loại và đặc tính của động cơ

Phân loại động cơ



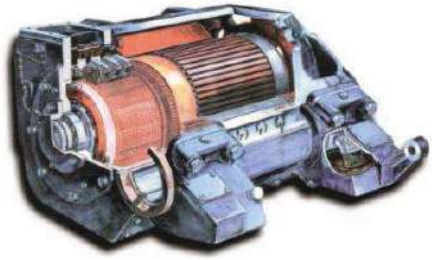
EC → Động cơ chuyển mạch điện tử
PM → Động cơ nam châm vĩnh cửu

Loại động cơ và ứng dụng



Động cơ điện một chiều

Loại	Đặc tính
Có chổi than với stato dây quấn	Điều khiển đơn giản
Có chổi than, Stato nam châm vĩnh cửu	Yêu cầu bảo trì cao
Không chổi than (công nghệ mới)	Độ tin cậy kém (hỏng chổi than)



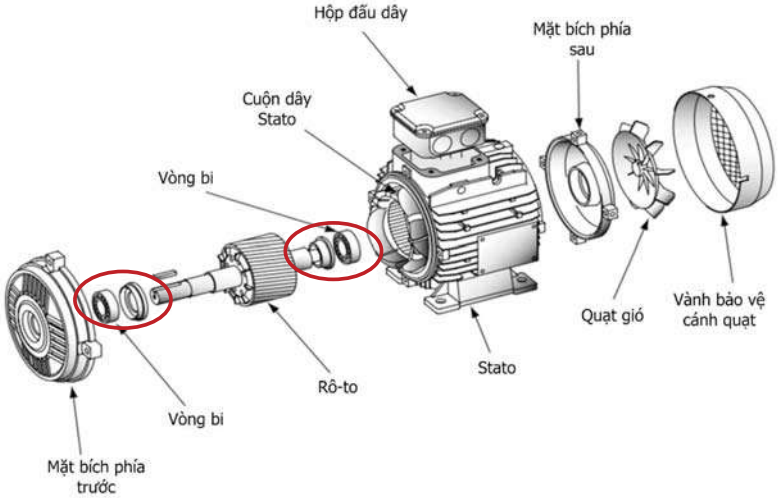
Động cơ điện một chiều với stato dây quấn

Động cơ không đồng bộ rô-to lồng sóc

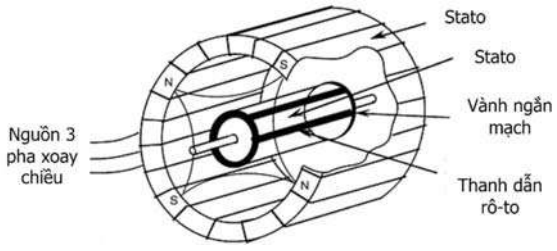
Sử dụng trên 90% trong toàn bộ hệ thống động cơ;

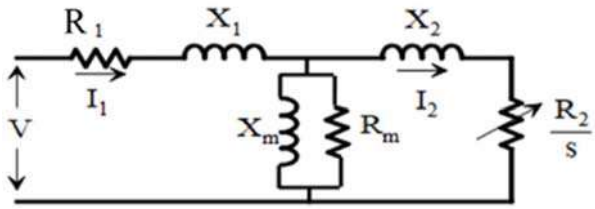
- Hiệu suất tốt và độ tin cậy cao (giảm thiểu bảo trì);
- Giá rẻ (Khi so sánh với động cơ khác cùng loại);
- Dễ điều khiển, khi sử dụng bộ điều khiển biến đổi tốc độ (VSDs).

Động cơ không đồng bộ rô-to lồng sóc



Động cơ không đồng bộ rô-to lồng sóc





R1, R2 = Điện trở stato và rô-to,
X1, X2 = Điện kháng rò của stato và rô-to

Xm = Điện kháng từ hóa
Rm = Điện trở từ hóa

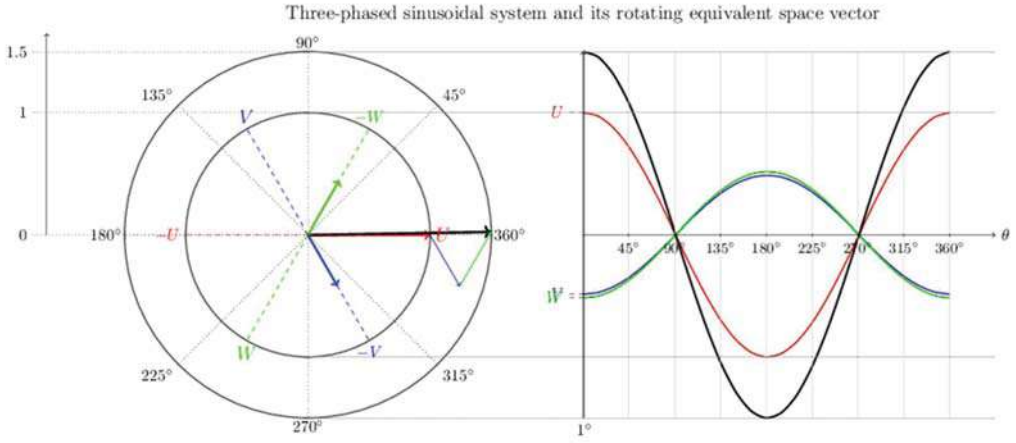
s = Độ trượt = $(\omega_s - \omega_{rotor}) / \omega_s$

ω_s = Tốc độ đồng bộ (rad/s)

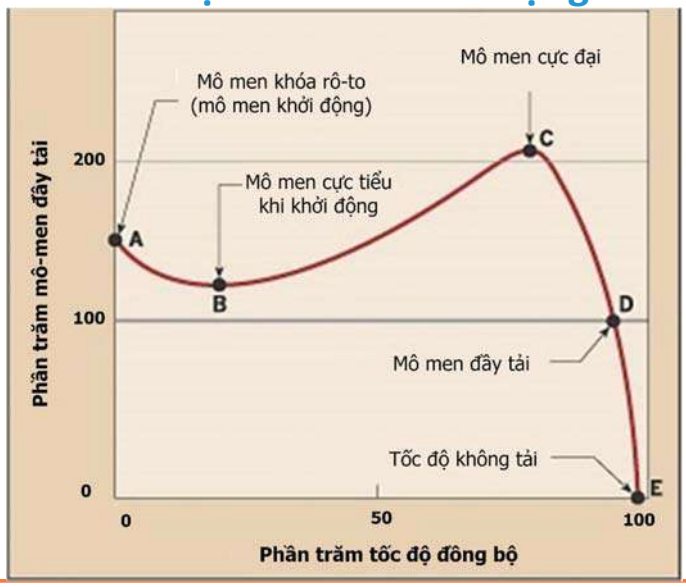
ω_{rotor} = Tốc độ rô-to(rad/s)

Từ trường quay

Hệ thống hình sin ba pha và vector không gian tương đương quay



Đặc tính Mô-men – tốc độ điển hình của động cơ không đồng bộ



Động cơ không đồng bộ hiệu năng cao

- Hiệu suất cao hơn (2-10% hoặc hơn tùy vào công suất động cơ)
- Họ có thể giảm hóa đơn tiền điện và giảm chi phí bảo trì
- Sử dụng nhiều vật liệu chất lượng cao hơn – chi phí cao (25-30%)
- Vòng đời dài hơn (Hoạt động ở nhiệt độ thấp hơn)
- Thông thường, Mô-men khởi động thấp hơn (tùy dạng rãnh rô-to)
- Dòng khởi động lớn hơn
- Hệ số trượt thấp hơn
- Quán tính rô-to lớn hơn

Tổn hao trong động cơ điện

Tổn hao điện

(Còn được gọi là tổn hao Joule) được biểu diễn bởi I^2R, và do đó tăng nhanh khi tải động cơ tăng. Tổn hao điện xuất hiện dưới dạng nhiệt sinh ra bởi điện trở khi dòng điện chạy qua dây quấn stato cũng như trong các thanh dẫn rôto và vòng ngắn mạch

Tổn hao từ

Tổn hao từ xảy ra trong các lá thép kỹ thuật điện của stato và rô-to. Chúng xuất hiện do hiện tượng từ trễ và dòng điện xoáy và tăng xấp xỉ theo bình phương mật độ từ thông

Tổn hao cơ

Do ma sát trong ổ bi, tổn hao thông gió và tổn hao do sức cản gió

Tổn hao phụ do tải

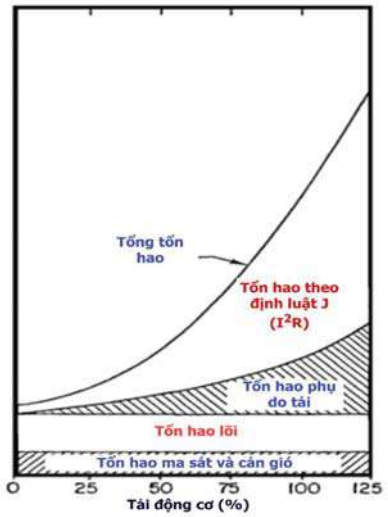
Là do từ thông rò, sóng hài của mật độ từ thông khe hở, phân bố dòng điện không đều giữa các thanh rô-to, sai số cơ học trong khe hở và các bất thường về mật độ từ thông khe hở

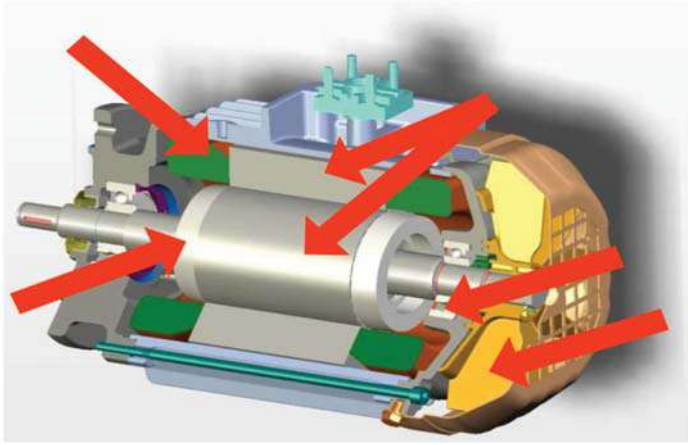
Tổn hao do tiếp xúc chổi than (chỉ áp dụng cho động cơ có chổi than)

Phát sinh từ sụt áp giữa chổi than và cổ góp, đồng thời bao gồm cả các tổn hao ma sát bổ sung

I – dòng điện; R – Điện trở

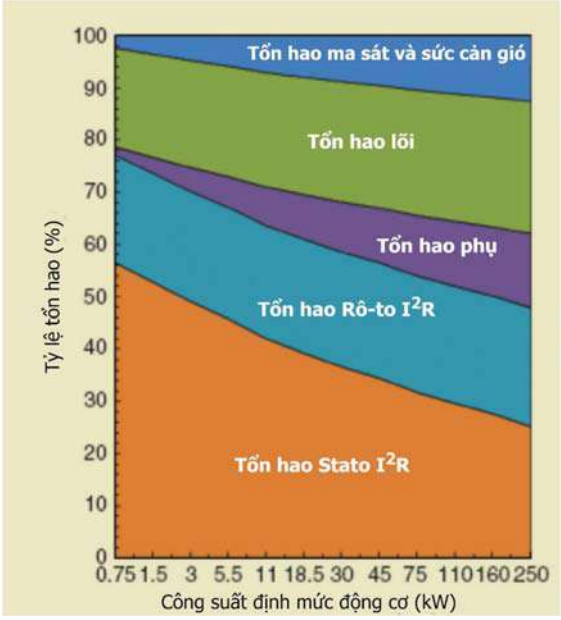
Tổn hao và tải của động cơ điện





Tổn hao theo công suất động cơ

Tỷ lệ điển hình của các tổn hao trong động cơ cảm ứng 4 cực, 50 Hz



Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM)

Cũng được gọi là:

Động cơ một chiều không chổi than (BLDC)	Động cơ chuyển mạch điện tử (ECM)	PMSM được khuyến nghị sử dụng

Cách hoạt đông của động cơ tương tự động cơ DC, nhưng không có chổi than:

- Thiết kế stato tương tự động cơ không đồng bộ (dây quấn 3 pha trên stato)
- Rô-to có nam châm vĩnh cửu quay
- Cấp nguồn cho 3 pha tùy theo vị trí rô-to

- Hoạt động đồng bộ, loại bỏ tổn hao điện và từ trong rôto – giảm điển hình khoảng 20% tổng tổn hao của động cơ
- Có thể trở nên hấp dẫn hơn: chi phí dự kiến giảm nhờ nam châm rẻ hơn và sản xuất hàng loạt

Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM)

Ưu điểm chính

- Đường đặc tính mô-men – tốc độ xuất sắc (ví dụ: có thể cho phép truyền động trực tiếp)
- Phản ứng động học tuyệt vời
- Hiệu suất và độ tin cậy cao → bảo trì thấp
- Tuổi thọ dài hơn
- Độ ồn thấp
- Khả năng vận hành tốc độ cao
- Tỷ lệ mô-men/thể tích cao hoặc mật độ công suất cao

Nhược điểm chính

- Giá thành cao và luôn phải sử dụng bộ điều khiển tốc độ (VSD).

Động cơ LSPM

LSPM = Động cơ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp

Động cơ lai với rôto lồng sóc được gắn nam châm vĩnh cửu năng lượng cao (NeFeB**) phù hợp cho khởi động trực tiếp từ lưới điện

Có thể thay thế trực tiếp cho động cơ không đồng bộ (cùng tỷ số công suất x khung vỏ)

**Hợp kim Neodyum-Sắt-Bo

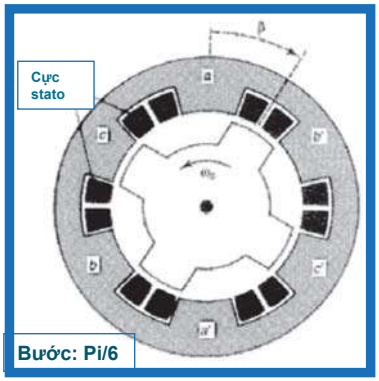
Động cơ từ trở chuyển mạch (SR)

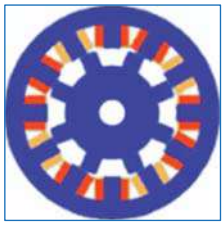
- Động cơ từ trở (SR motor) có thiết kế hai cực nhô với cuộn pha đặt quanh các cực stato đối diện nhau.
- Khi một pha được cấp điện, rô-to sẽ quay vào vị trí thẳng hàng với các cực stato, từ đó làm giảm điện kháng của mạch từ đến mức tối thiểu. Là động cơ hiệu suất cao dùng cho truyền động biến tần, hệ từ của động cơ được tối ưu hóa cho hoạt động vòng kín.
- Phản hồi vị trí rô-to được sử dụng để điều khiển việc cấp điện cho các pha một cách tối ưu, nhằm đạt mô-men quay liên tục, mượt mà và hiệu suất cao.

Động cơ từ trở chuyển mạch

Stato: 6 cực (3 pha)

Rô-to: 4 cực





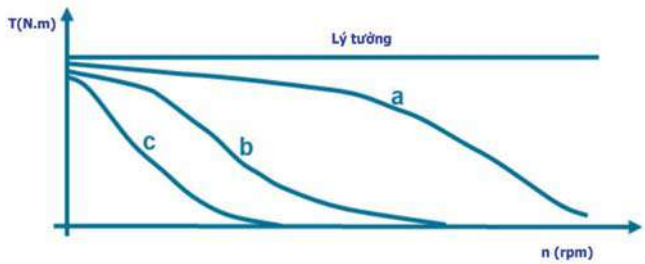
STATO: 8 cực

ROTOR: 6 cực

Động cơ từ trở chuyển mạch

Ứng dụng đến 75 kW:

- Máy ly tâm tốc độ cao
- Máy nén khí
- Máy giặt
- Máy hút bụi
- Máy bơm chân không
- Hệ thống sưởi, thông gió và điều hòa không khí (HVAC**)
- Hệ thống truyền động biến tần
- Máy công cụ
- Tự động hóa
- Kéo, truyền động xe v.v.



Nguồn: ISR – Đại học Coimbra

** Hệ thống sưởi, thông gió và điều hòa không khí

Động cơ từ trở chuyển mạch

Ưu điểm chính

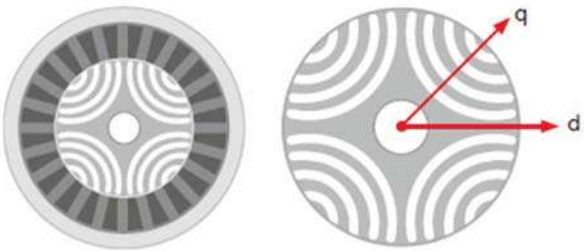
- Hiệu suất cao với mật độ công suất lớn
- Mô-men lớn và khả năng vận hành tốc độ cao
- Độ tin cậy cao và tuổi thọ dài
- Cấu tạo đơn giản, bền chắc
- Chi phí thấp
- Bộ điều khiển đơn giản hơn (1 phần tử chuyển mạch công suất mỗi pha)
- Có sẵn với nhiều kích thước và hình dạng khác nhau

Nhược điểm chính

- Mô-men quay dao động và độ ồn cao do mức rung lớn – các nghiên cứu đang được thực hiện để cải thiện các vấn đề này.
- Luôn cần bộ điều khiển (drive) để vận hành.

Động cơ từ trở đồng bộ

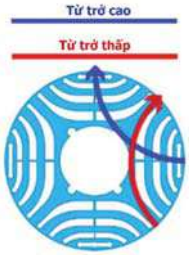
Động cơ từ trở đồng bộ IE5 (SynRM) giảm tổn hao lên tới 40% so với động cơ không đồng bộ IE3



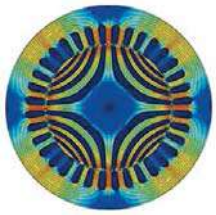
Mô-men được tạo ra bởi động cơ từ trở đồng bộ tỷ lệ thuận với hiệu số giữa các điện cảm trên trục d và trục q: Hiệu số này càng lớn thì mô-men tạo ra càng lớn. Do đó, động cơ từ trở đồng bộ được thiết kế với vật liệu dẫn từ (sắt) trên trục d và vật liệu cách từ (không khí) trên trục q.

Động cơ từ trở đồng bộ - Nguyên lý hoạt động

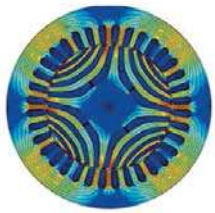
Stato tương tự động cơ không đồng bộ, tạo ra từ trường quay. Rô-to sẽ sinh mômen bất cứ khi nào có từ trường trong khe hở không thẳng hàng với rô-to



a)



b)



c)

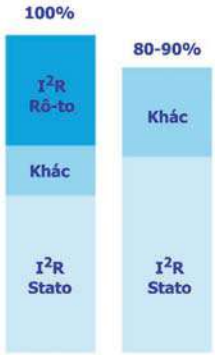
a) Các vùng rô-to có điện kháng cao và thấp
b) Khi rô-to thẳng hàng với từ trường → không sinh mô-men
c) Khi rô-to lệch với từ trường → sinh mô-men quay (ngược chiều kim đồng hồ)

(Source: Oemer and ABB)

Rô-to mới không có nam châm hay cuộn dây, do đó gần như không có tổn hao điện → động cơ đặc biệt mát.

Động cơ từ trở đồng bộ

Động cơ không đồng bộ



Tổn hao

Động cơ từ trở hiệu suất cao

Source: ABB

Động cơ từ trở đồng bộ

Ưu điểm

- Rôto không có cuộn dây và nam châm vĩnh cửu
- Quán tính thấp
- Hiệu suất tăng tốc tốt
- Hoạt động tốt ở chế độ suy giảm từ thông
- Chi phí sản xuất thấp

Nhược điểm

- Hệ số công suất thấp
- Mô-men giao động

Đánh giá & Thảo luận

- Tại sao loại động cơ phổ biến nhất trong công nghiệp?
- Một số tổn hao bên trong động cơ điện?
- Loại động cơ mới nhất đạt hiệu suất năng lượng IE5?

Phần 5

Tiêu chuẩn động cơ điện

63

Cái bài kiểm tra hiệu suất chính và các tiêu chuẩn liên quan

IEC 60034-1 (Ấn bản 12: 2010): Công suất định mức và hiệu suất hoạt động

IEC 60034-2-1 (Ấn bản 2.0:2014): Phương pháp tiêu chuẩn để xác định tổn hao và hiệu suất từ những bài kiểm tra	Tiêu chuẩn này thiết lập các phương pháp xác định hiệu suất thông qua thử nghiệm, đồng thời quy định các phương pháp xác định các tổn hao riêng biệt. Tiêu chuẩn áp dụng cho các động cơ DC và AC đồng bộ cũng như không đồng bộ ở mọi kích cỡ, trong phạm vi của IEC 60034-1
IEC 60034-31 (Ấn bản 1.0: 2010): Hướng dẫn lựa chọn và ứng dụng động cơ tiết kiệm năng lượng, bao gồm các ứng dụng điều khiển tốc độ thay đổi	Tiêu chuẩn này cung cấp hướng dẫn kỹ thuật cho việc ứng dụng động cơ tiết kiệm năng lượng trong các ứng dụng tốc độ không đổi và tốc độ biến thiên. Nó không đề cập đến các khía cạnh mang tính thương mại thuần túy

IEC – Ủy ban Kỹ thuật Điện Quốc tế

Cái bài kiểm tra hiệu suất chính và các tiêu chuẩn liên quan

IEC 60034-30-1 (Ấn bản 1.0: 2014):
Các hạng hiệu suất của động cơ AC hoạt động trực tiếp trên lưới (mã IE)

- Tiêu chuẩn này định nghĩa các hạng hiệu suất cho động cơ một tốc độ hoạt động trên nguồn điện sin (khởi động trực tiếp – DOL).
- Nó hài hòa các mức hiệu suất khác nhau đang được sử dụng trên toàn thế giới.
- Tiêu chuẩn này thiết lập một tập hợp các giá trị hiệu suất giới hạn dựa trên tần số (50 hoặc 60 Hz), số cực từ (2, 4, 6 và 8) và công suất động cơ (120 W đến 1000 kW). (Không phân biệt giữa các công nghệ động cơ)

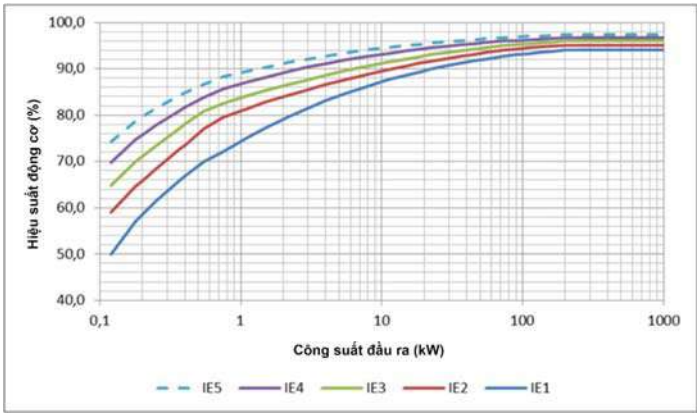
4 cấp hiệu suất

IE1	Hiệu suất tiêu chuẩn (Hiện tại Eff2)
IE2	Hiệu suất cao (Hiện tại Eff1, EPAct)
IE3	Hiệu suất đặc biệt (giảm 16-20% tổn hao so với IE2)
IE4	Hiệu suất siêu đặc biệt

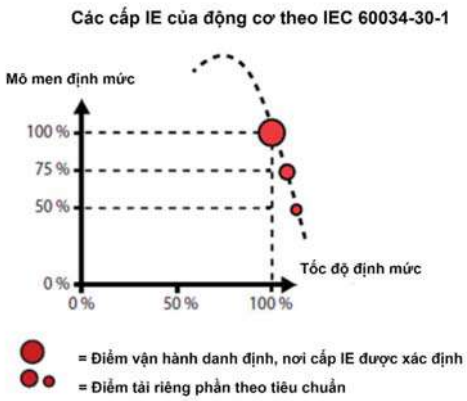
IE5: chỉ được trình bày dưới dạng phụ lục thông tin (Phụ lục A). Mục tiêu là giảm tổn hao của IE5 khoảng 20% so với IE4

Phân loại hiệu suất – IEC 60034-30-1

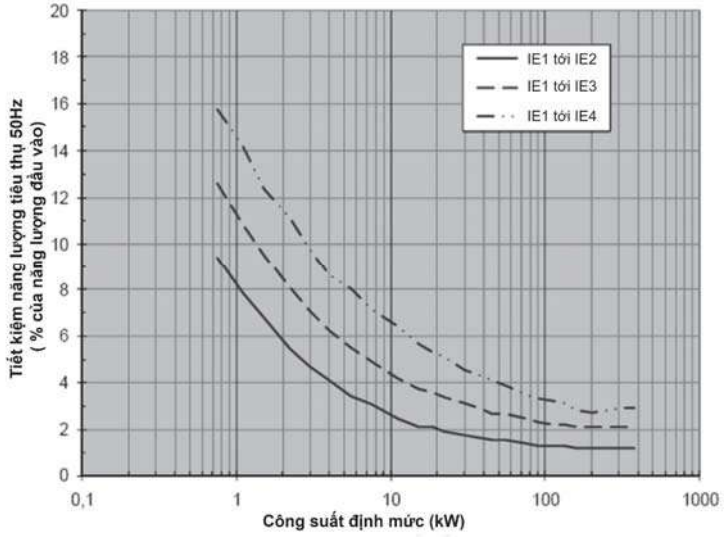
Hài hòa các tiêu chuẩn phân loại hiệu suất trên toàn thế giới – IEC 60034-30-1



Đặc tính cho động cơ 50Hz, 4 cực

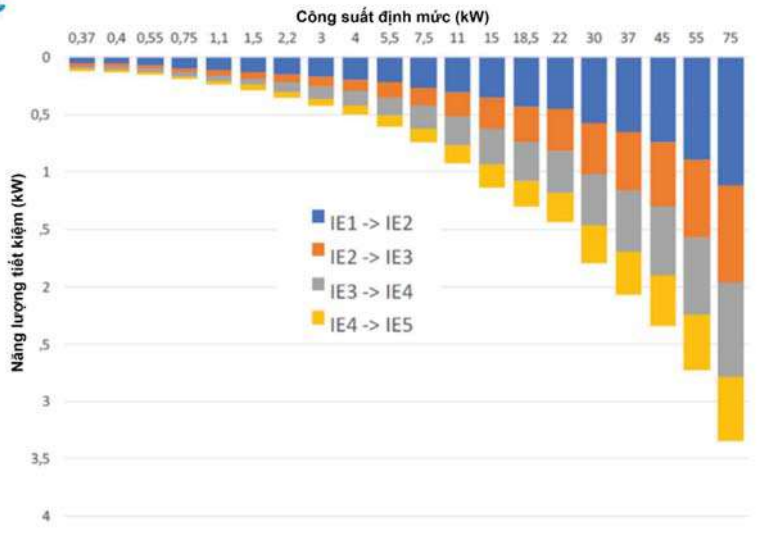


Tiết kiệm năng lượng



Tiềm năng tiết kiệm năng lượng thông qua nâng cấp các hạng hiệu suất

Tiết kiệm năng lượng từ giảm tổn hao động cơ khi chuyển từ hạng hiệu suất này sang hạng khác



Milestones in the Evolution of Electric Motor Efficiency Classes

1993: Động cơ Hiệu suất cao

Đạo luật Chính sách Năng lượng Hoa Kỳ năm 1992 **(EPAct-92)** được ban hành. Hiệp hội các nhà sản xuất điện quốc gia (NEMA) công bố tiêu chuẩn MG 1-1993, thiết lập mức hiệu suất tối thiểu cho các loại động cơ cảm ứng với công suất và tốc độ khác nhau.

2001: Động cơ hiệu suất đặc biệt

Lần đầu tiên, danh mục động cơ hiệu suất cao được giới thiệu vào năm 2001 với việc NEMA công bố các Tiêu chuẩn Động cơ Cao cấp. Đồng thời, Ủy ban các nhà sản xuất máy điện và điện tử công suất châu Âu (CEMEP) đã thiết lập các cấp hiệu suất mang tên **Eff1, Eff2, và Eff3**, để phân biệt tương ứng các loại động cơ Cao cấp , Hiệu suất cao và Tiêu chuẩn

2009: Động cơ hiệu suất siêu đặc biệt

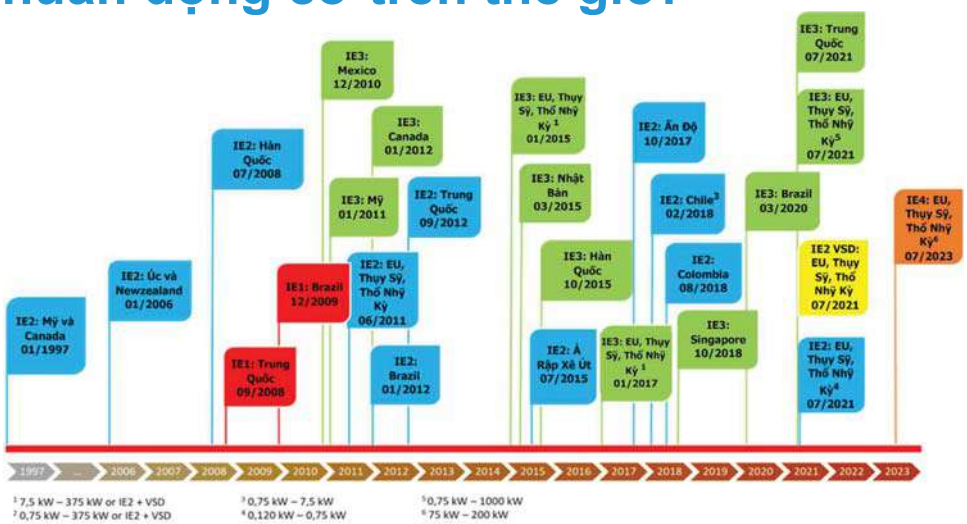
Năm 2008, một hệ thống phân loại hiệu suất động cơ được Ủy ban Kỹ thuật Điện Quốc tế (IEC) công bố trong tiêu chuẩn IEC 60034-30. Hệ thống phân loại hiệu suất mới này đã thống nhất các định nghĩa của CEMEP và NEMA, bao gồm: Hiệu suất Tiêu chuẩn **(IE1)**, Hiệu suất Cao **(IE2)**, Hiệu suất Cao cấp **(IE3)**. Vào năm 2009, cấp Hiệu suất Siêu cao cấp **(IE4)** được bổ sung.

2014: Động cơ hiệu suất Siêu cao cấp

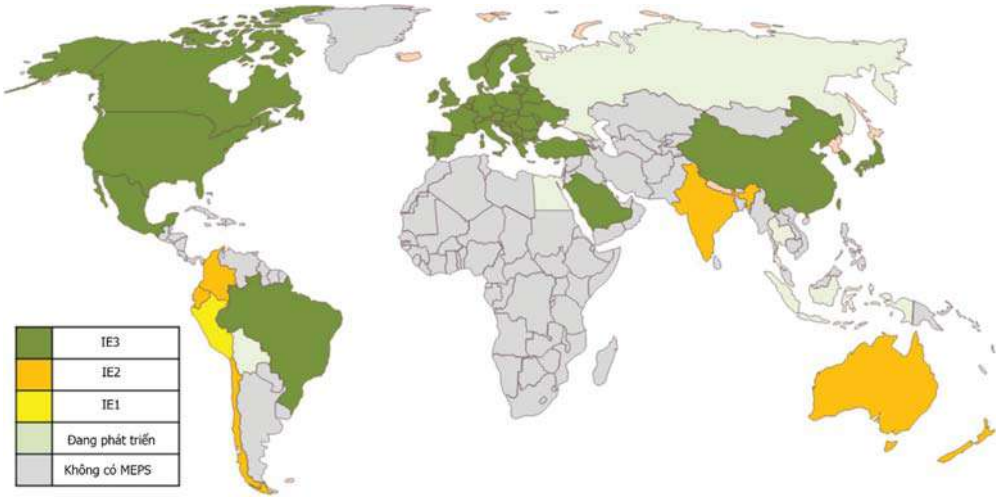
Tiêu chuẩn **IEC 60034-30-1:2014** được IEC công bố. Tiêu chuẩn này quy định các cấp hiệu suất cho động cơ điện một tốc độ hoạt động với nguồn điện áp hình sin.Cấp hiệu suất Siêu cao cấp **(IE5)** được bổ sung trong tiêu chuẩn IEC 60034-30-1 và NEMA MG1.

Source. Identification of Technoeconomic Opportunities with the Use of Premium Efficiency Motors as Alternative for Developing Countries, Energies · October 2020

Tiêu chuẩn động cơ trên thế giới



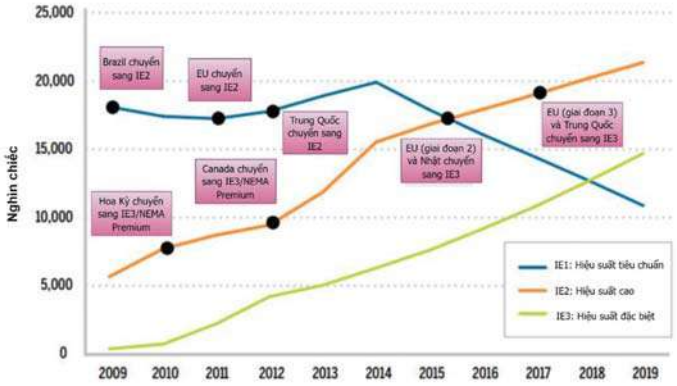
Các tiêu chuẩn hiệu suất năng lượng tối thiểu (MEPS) cho động cơ trên Thế giới



Tiêu chuẩn MEPS tại Việt Nam

- TCVN 7540-1:2013 - Động cơ điện không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc - Phần 1: Hiệu suất năng lượng
- Theo tài liệu này, IE2 tối thiểu đã trở thành bắt buộc từ tháng 1 năm 2015. IE3 được khuyến nghị nhưng không bắt buộc theo luật (tự nguyện).
- Bản cập nhật năm 2023 xác nhận IE2 là tiêu chuẩn tối thiểu, đồng thời khuyến nghị áp dụng IE3 và IE4 (theo Quyết định 14/2023/QĐ-TTg có hiệu lực từ ngày 15 tháng 7 năm 2023)

Tác động của các chính sách hiệu suất năng lượng đối với thị trường động cơ điện



Tác động của các chính sách hiệu suất năng lượng lên doanh số bán các loại động cơ điện hiệu suất cao hơn. Trích dẫn từ tài liệu [12], 4E Energy-Efficient End-use Equipment :Tháng 11 năm 2015.

Nguồn: IHS, 2015

Đánh giá & Thảo luận

- Tại sao chúng ta cần tiêu chuẩn của động cơ?
- Những tiêu chuẩn MEPS nào được áp dụng tại Việt Nam?

Phần 6

Lựa chọn động cơ mới

75

Lựa chọn động cơ phù hợp cho ứng dụng

Các yếu tố cần sử dụng

- Yêu cầu cơ khí của tải truyền động.
- Phân loại hiệu suất của động cơ.
- Hệ thống phân phối điện.
- Các yếu tố vật lý và môi trường.
- Việc đánh giá các đặc tính này sẽ cho phép người dùng chọn loại động cơ phù hợp nhất cho ứng dụng (AC hay DC; một pha; ba pha; công suất; cách lắp đặt, v.v.)

Lựa chọn động cơ DC

- Động cơ DC thường được chọn ở những nơi yêu cầu điều khiển tốc độ chính xác, vì hệ thống điều khiển tốc độ DC đơn giản hơn, ít tốn kém hơn và có dải điều chỉnh rộng hơn so với hệ thống điều khiển tốc độ AC.
- Ở những nơi yêu cầu mô-men khởi động rất cao và/hoặc khả năng quá tải mô-men lớn, động cơ DC thường được lựa chọn.
- Chúng cũng phù hợp với các thiết bị chạy bằng pin

Lựa chọn động cơ DC

Nhược điểm của động cơ DC:

- Chi phí ban đầu cao
- Chi phí vận hành và bảo trì tăng do có cổ góp và chổi than
- Không thể hoạt động trong điều kiện dễ cháy nổ và nguy hiểm do phát sinh tia lửa điện ở chổi than (nguy cơ hỏng hóc trên cổ góp)
- Động cơ AC với khả năng điều khiển tương tự đang dần thay thế

Lựa chọn động cơ 1 pha

Loại động cơ	Tốc độ quay điển hình (RPM)	Moment khởi động (% Mô-men đầy tải)	Hiệu suất tương đối	Ứng dụng điển hình
Cực che	1050, 1550, 3000	Rất thấp (50-100%)	Thấp	Quạt và máy thổi truyền động trực tiếp cỡ nhỏ
Tụ điện tách rời	825, 1075, 1625	Thấp (75-150%)	Trung bình	Quạt và máy thổi truyền động trực tiếp
Chia pha	1140, 1725, 3450	Thấp đến Trung bình (130-170%)	Trung bình	Quạt và máy thổi (truyền động trực tiếp và dây đai), dụng cụ nhỏ, bơm ly tâm, và các thiết bị gia dụng
Tụ khởi động	1140, 1725, 3450	Trung bình đến Cao (200-400%)	Trung bình đến Cao	Bơm, máy nén, dụng cụ, băng tải, thiết bị nông nghiệp, và quạt thông gió công nghiệp

Lựa chọn động cơ đồng bộ

Tốc độ

- Động cơ đồng bộ hoạt động ở tốc độ đồng bộ và không bị sụt tốc trong dải tải.
- Chúng nên được chọn nếu yêu cầu tốc độ chính xác.

Giảm chi phí vận hành

- Động cơ đồng bộ thường tiết kiệm năng lượng hơn động cơ không đồng bộ, đặc biệt ở dải công suất rất lớn (trên 1000 kW).

Hiệu chỉnh hệ số công suất

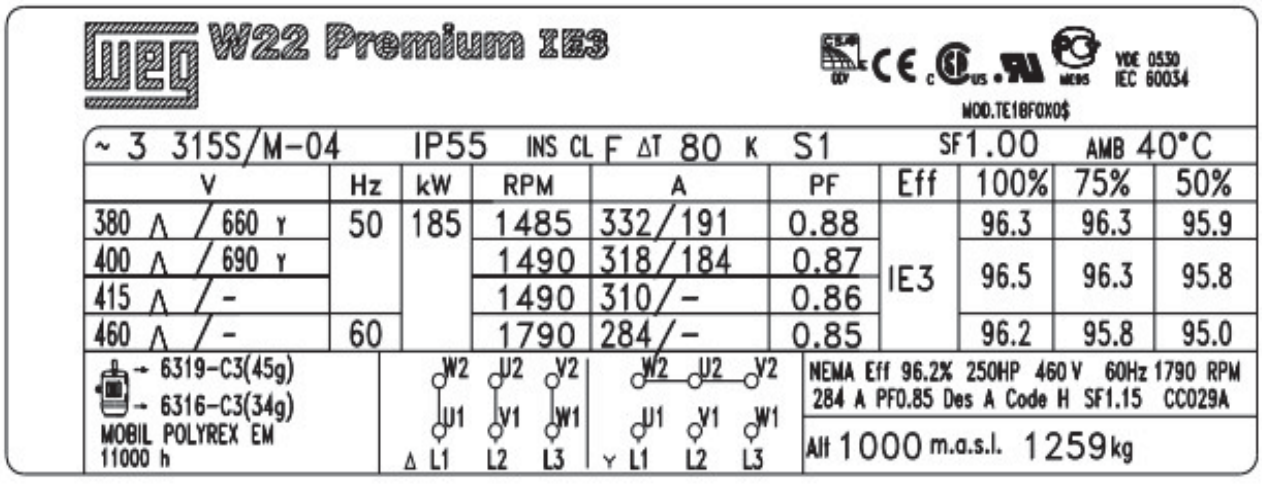
- Động cơ đồng bộ có thể tạo ra công suất phản kháng để hiệu chỉnh hệ số công suất thấp của hệ thống cung cấp trong khi vẫn truyền động cơ học.
- Khi cung cấp công suất phản kháng, chúng được cho là máy bù đồng bộ

Lựa chọn động cơ không đồng bộ

IEC 60034-12 (2002) và NEMA MG-1 (2011)

	Phân loại	Mômen khởi động (% Mômen định mức)	Mômen tới hạn (% Mômen định mức)	Dòng khởi động	Độ trượt	Ứng dụng điển hình
Thiết kế IEC N	**Thiết kế B** Mômen khởi động thường & Dòng khởi động thường	100-200%	200-250%	Thường	< 5%	Quạt, máy thổi và bơm ly tâm, những nơi có yêu cầu moment khởi động tương đối thấp.
	Thiết kế C Mômen khởi động cao & Dòng khởi động thường	200-250%	200-250%	Thường	< 5%	Băng tải, máy khuấy, máy nghiền, máy trộn, bơm và máy nén piston, v.v., những nơi yêu cầu khởi động có tải.
Thiết kế IEC H	**Thiết kế D** Mômen khởi động cao & Độ trượt cao	275%	275%	Thấp	> 5%	Các tải có đỉnh nhọn cao, tải có bánh đà như máy dập, máy xén, thang máy, máy ép, tời, pa lăng, bơm giếng dầu và máy kéo dây.

Nhãn động cơ không đồng bộ

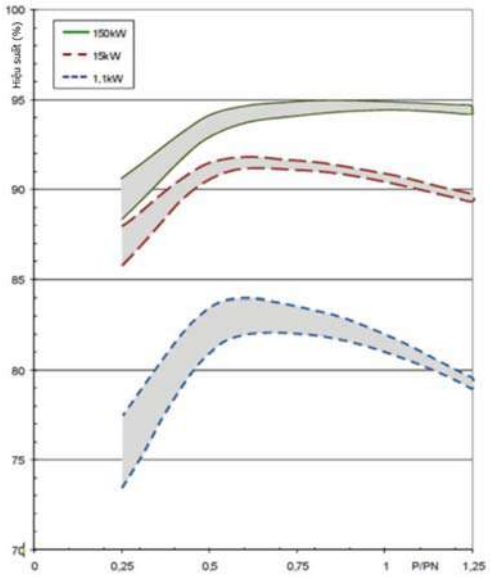


Tải động cơ

Động cơ phải được chọn công suất phù hợp với yêu cầu về tốc độ và mô-men của tải trong quá trình vận hành. Các loại tải có thể được phân loại theo các chế độ làm việc khác nhau mô tả thời gian vận hành và sự thay đổi tải.

Khi xem xét thay thế một động cơ hiện có, việc giám sát công suất đầu vào của động cơ trong một khoảng thời gian sẽ giúp xác định kích cỡ tối ưu. Các thiết bị ghi dữ liệu chạy bằng pin, giá thành thấp, hoạt động hiệu quả trong việc theo dõi xu hướng tải

Hiệu suất với tải động cơ



IEC 60034-31

Tiêu chí vận hành trong lựa chọn động cơ

Tần suất khởi động và dừng

Đối với các lần khởi động thường xuyên, cần đảm bảo nhiệt độ cuộn dây và lõi thép không vượt quá định mức của động cơ (các kiểu làm việc được định nghĩa trong IEC 60034-1)

Mô-men khởi động yêu cầu

Đặc biệt chú ý đến các tải có quán tính lớn để đảm bảo mô-men khởi động của động cơ là đủ.

Hạn chế về gia tốc

Đảm bảo động cơ kéo tải đạt tốc độ tối đa đủ nhanh để tránh làm tác động rơ-le bảo vệ quá tải. Ngược lại, một số tải cần thời gian để tăng tốc, ví dụ như băng tải – việc sử dụng biến tần (VSD) có thể hợp lý để đạt được điều này và giữ dòng điện khởi động thấp.

Nhiệt độ vận hành

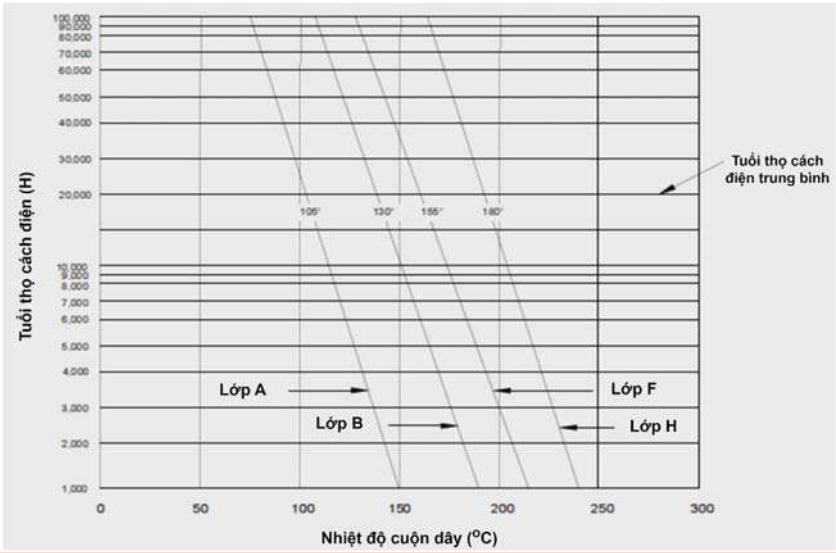
Nhiệt độ làm việc tối đa cho mỗi cấp cách điện (theo IEC 60085)

Các cấp chịu nhiệt của hệ thống cách nhiệt	A	E	B	F	H
Nhiệt độ vận hành tối đa (ºC)	105	120	130	155	180

Nhiệt độ môi trường → Là nhiệt độ không khí xung quanh động cơ.

Nhiệt độ hoạt động tối đa → Là nhiệt độ điểm nóng tối đa cho phép của cuộn dây (nhiệt độ cho phép của hệ thống cách điện).

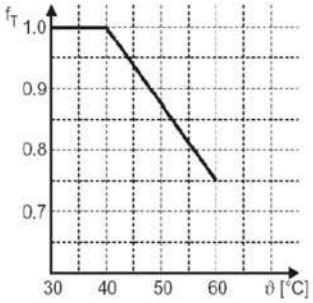
Tuổi thọ cách điện với nhiệt độ

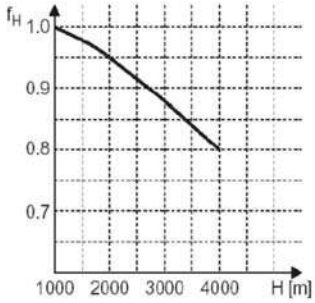


Hệ số phục vụ

- Hệ số phục vụ của động cơ là một chỉ số về khả năng vượt quá công suất cơ khí định mức một cách bền vững. Hệ số phục vụ lớn hơn 1.0 cho phép một biên độ dự phòng cho nhu cầu công suất đỉnh mà không cần phải chọn động cơ có kích thước lớn hơn tiếp theo.
- Ví dụ: Một động cơ 10 kW với hệ số phục vụ 1,15 có thể cung cấp 11,5 kW mà không vượt quá mức tăng nhiệt độ cho phép của NEMA đối với hệ thống cách điện của nó.
- Một động cơ hoạt động liên tục ở hệ số phục vụ lớn hơn 1 sẽ bị giảm tuổi thọ (cách điện và vòng bi).
- Hiệu suất động cơ thường giảm khi hoạt động ở mức công suất theo hệ số phục vụ.

Giảm định mức của động cơ

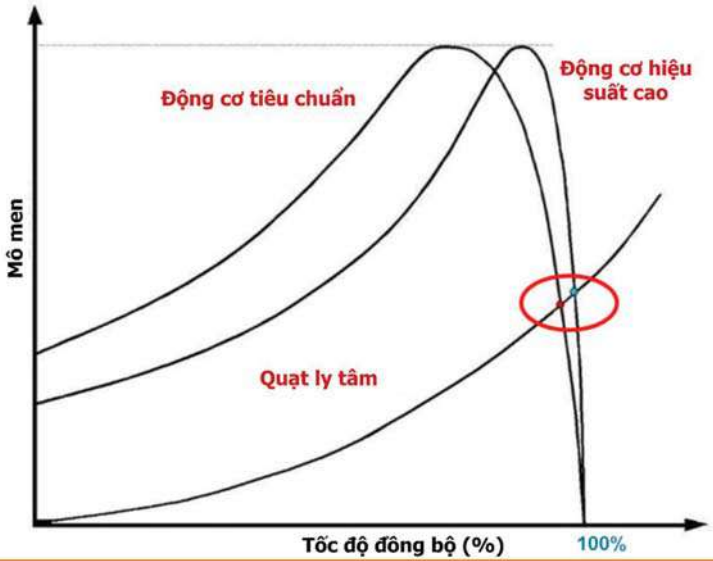




- Với nhiệt độ môi trường trên 40° C và dưới 60° C
- Với độ cao trên 1000m so với mực nước biển

$$P_{Nred} = P_N \bullet f_T \bullet f_H$$

Tương thích Tốc độ vận hành của động cơ hiệu suất cao hơn



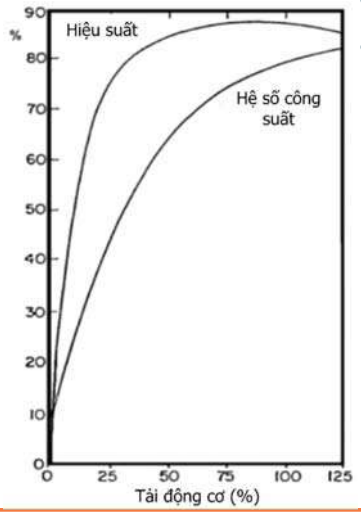
- Động cơ hiệu suất cao hơn có đường cong đặc tính mômen - tốc độ khác.
- Giao điểm mới với đường đặc tính của hệ thống (tải) thể hiện điểm vận hành mới.
- Lưu ý rằng tốc độ bây giờ nhanh hơn một chút so với ban đầu.
- Nếu không được điều chỉnh, quy trình có thể nằm ngoài thông số kỹ thuật và mức tiêu thụ năng lượng thực tế có thể tăng lên.

Định cỡ động cơ

Định cỡ phù hợp cho ứng dụng của bạn:

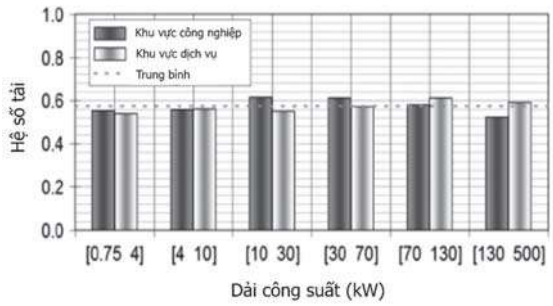
- Hiệu suất động cơ duy trì tương đối ổn định đến khoảng 50% tải định mức, dưới ngưỡng này hiệu suất giảm nhanh chóng. Cần thận trọng trong việc lựa chọn hệ số an toàn, đảm bảo đủ nhưng không quá mức cần thiết.
- Động cơ nên được chọn công suất phù hợp với tải cực đại dự kiến.
- Việc chọn động cơ quá cỡ có thể làm tăng chi phí đáng kể, do toàn bộ các thiết bị điện kèm theo đều phải được thiết kế theo công suất định mức của động cơ.
- Do đặc tính nhiệt độ vận hành thấp của các động cơ hiệu suất cao, khả năng quá tải của chúng thường lớn hơn so với động cơ tiêu chuẩn.

Quá cỡ



Nhược điểm :

- Chi phí vốn cao hơn (cho cả động cơ và thiết bị điều khiển, bảo vệ).
- Hiệu suất và hệ số công suất của động cơ thấp hơn.



Hệ số tải trung bình theo dải công suất, trong ngành công nghiệp và khu vực dịch vụ, Liên minh Châu Âu, năm 2000

Chiến lược tiết kiệm năng lượng

Lựa chọn thay thế trước khi động cơ bị hỏng

- Trong nhiều trường hợp, để đưa động cơ trở lại vận hành nhanh nhất có thể, các quyết định được đưa ra nhằm đáp ứng mục tiêu ngắn hạn nhưng lại ảnh hưởng tiêu cực đến hiệu suất lâu dài và tuổi thọ của động cơ.
- Khi tiến hành đánh giá, việc thay thế các động cơ còn đang hoạt động bằng các động cơ có kích thước phù hợp và hiệu suất cao hơn thường mang lại lợi ích lớn hơn

Chiến lược tiết kiệm năng lượng

Tương thích tốc độ hoạt động của động cơ:

- Nói chung, động cơ có hiệu suất cao hơn có tốc độ vận hành cao hơn, tức là độ trượt giảm so với động cơ hiệu suất thấp hơn. Trung bình, độ trượt giảm khoảng 20 đến 30% cho mỗi cấp hiệu suất cao hơn tiếp theo.
- Đối với hầu hết các máy móc quay, công suất tiêu thụ tỷ lệ với lập phương của tốc độ quay.

Ví dụ:

- Tăng tốc độ vận hành 2% có thể làm tăng công suất yêu cầu để kéo hệ thống lên 8%.
- Điều này có thể dễ dàng bù trừ hết phần tiết kiệm dự kiến từ việc thay thế bằng một động cơ hiệu suất cao hơn.

Đánh giá & Thảo luận

- Hãy nêu một số đặc tính cần được xác định khi lựa chọn một động cơ mới?
- Cấp cách điện điển hình cho động cơ không đồng bộ tiêu chuẩn hiện nay là gì?
- Mối quan hệ giữa nhiệt độ và tuổi thọ động cơ là gì?

Phần 7

Vận hành và điều khiển động cơ

Mômen và tốc độ động cơ

Đặc tính vận hành của động cơ điện được xác định bằng tốc độ quay cũng như mômen tạo ra trên trục động cơ.

$$Torque\left[N.m\right]=\frac{Power\left[W\right]}{speed\left[rad/s\right]}$$

$$Torque\ [N.m]=\frac{Power\ [W]}{2\pi\times speed[rps]}$$

$$Torque\ \ [N.m]=\frac{Power\ \ [W]}{2\pi\times speed\ \ [rpm]/60}$$

- f = Tần số (Hz)
- n = Vòng mỗi phút (v/p)
- ω = Tốc độ góc (rad/s)

Ghi chú * $\omega = 2\pi f$

Power (w): Công suất (w)

Torque (N.m): Mômen (N.m)

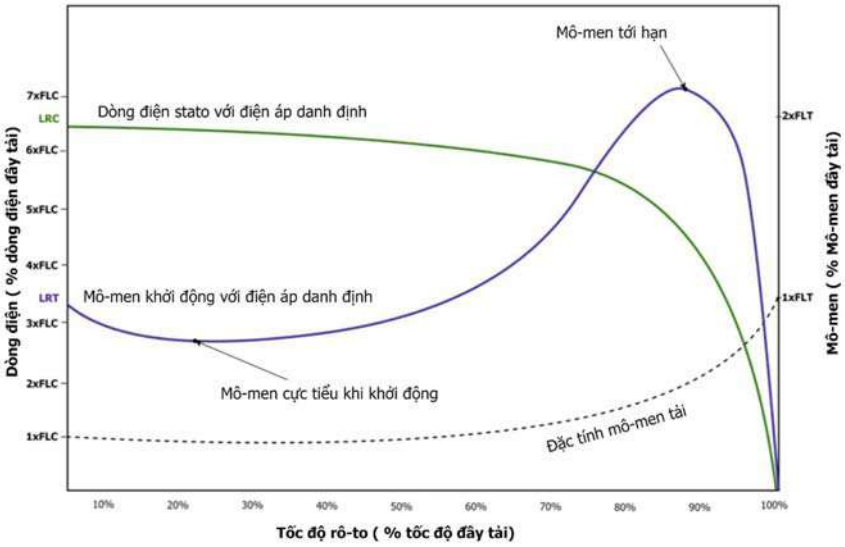
Tốc độ và độ trượt của động cơ không đồng bộ

$$Tốc\ độ\ đồng\ bộ\ [vòng/phút]=\frac{Tần\ số\ điện\ áp\ (Hz)\ \times 60}{Số\ đôi\ cực\ động\ cơ}$$

Tốc độ trượt [vòng/phút]=*Tốc độ đồng bộ* [vòng/phút] - *Tốc độ trục động cơ* [vòng/phút]

$$Hệ\ số\ trượt\ (\%)=\frac{Tốc\ độ\ đồng\ bộ\ (vòng/phút)-Tốc\ độ\ trục\ động\ cơ\ (vòng/phút)}{n_1}\times 100$$

Đặc tính Mô-men - tốc độ điển hình của động cơ không đồng bộ 3 pha



LRC – Dòng điện khi khóa rô-to,
LRT – Mô-men khi khóa rô-to,
FLC - Dòng điện đầy tải,
FLT- Mô-men đầy tải

Định nghĩa Mô-men

Mô-men khởi động

- Mô-men sinh ra tại tốc độ bằng không. Nếu động cơ phải quay một tải khó khởi động (tải có quán tính lớn), thì cần chọn một động cơ có mô-men khởi động cao

Mô-men đầy tải (cũng là mô-men hãm)

- Mô-men được tạo ra tại tốc độ đầy tải, cung cấp công suất định mức của động cơ.
- Tại điểm này, tích của mô-men và tốc độ bằng công suất ghi trên nhãn của động cơ.

Mô-men tối thiểu khi khởi động

- Mô-men tối thiểu được tạo ra trong quá trình tăng tốc từ trạng thái dừng đến tốc độ làm việc.
- Điều này có thể rất quan trọng đối với một ứng dụng cần công suất để vượt qua một số rào cản tạm thời trước khi đạt được mức công suất làm việc.

Mô-men tới hạn

- Mô-men cực đại mà động cơ có thể tạo ra trước khi bị dừng

Đặc tính tải

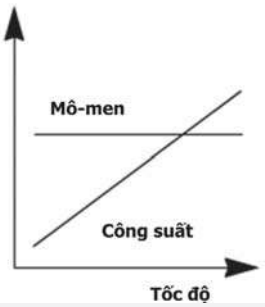
Có 3 dạng tải cơ bản khi xét theo quan hệ T=f(w):

- Mô-men thay đổi
- Mô-men không đổi
- Công suất không đổi

Xét theo sự biến thiên tải, tải có thể là:
- Chu kỳ
- Không đổi

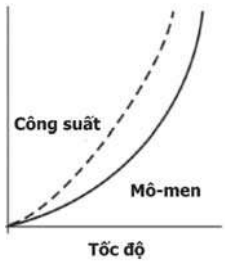
Phân loại tải

Mô-men không đổi/ Tốc độ thay đổi



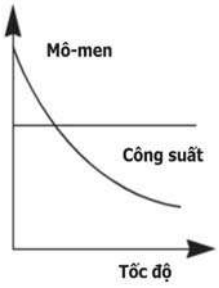
Máy nén trục vít, băng tải, cấp liệu...

Mô-men thay đổi/ Tốc độ thay đổi



Bơm ly tâm, quạt

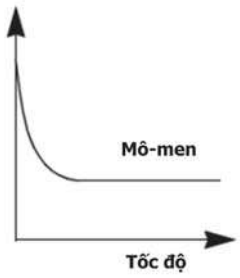
Mô men thay đổi/ Công suất không đổ



Truyền động kéo, máy tời, máy cán

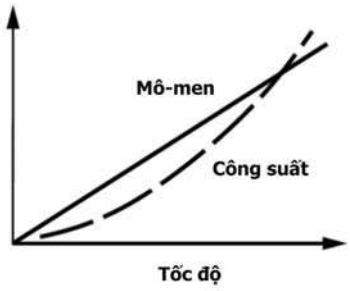
Phân loại tải

Mô-men khởi động lớn/ Mô-men không đổi



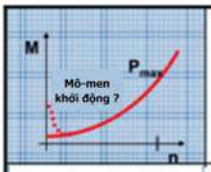
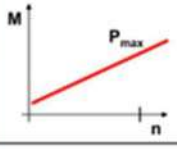
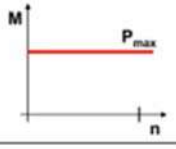
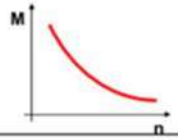
Máy đùn, bơm trục vít

Mô-men tuyến tính/ Công suất ~ n^2

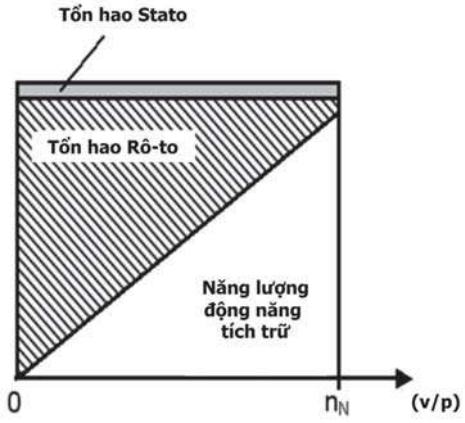


Tương đồng với máy cán, máy trộn, phanh điện

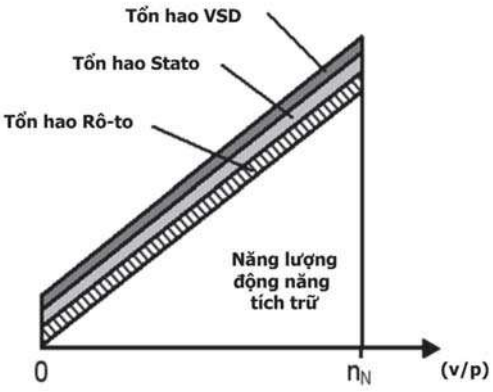
Tại sao chúng ta cần điều khiển tốc độ ?

			
$M \sim n^2$	**$M \sim n$**	**M bằng hằng số**	**$M = 1/n$**
• Bơm • Quạt • Máy thổi khí • Máy nén khí • Máy nén Turbo	• Máy cán (cán phẳng và dập nổi) • Máy làm giấy • Máy gia công sản phẩm nhựa	• Truyền động cấp phôi • Truyền động định vị • Cần trục, thang máy • Máy đùn, máy trộn • Máy nén pít-tông và trục vít	• Máy cuộn • Trục chính máy công cụ • Máy trộn, máy nghiền, máy cưa, máy cuộn tôn
VT	**VT** / **CT**	**CT**	**CT**
Không có encoder	**Không có encoder** / **Có encoder**	**Có encoder**	**Có encoder**

Khởi động động cơ – Tiêu thụ năng lượng



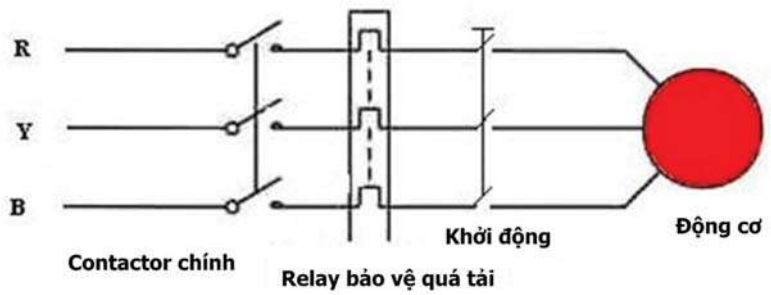
Động cơ khởi động trực tiếp tiêu chuẩn



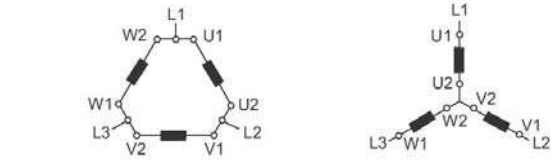
Bộ điều khiển thay đổi tốc độ động cơ

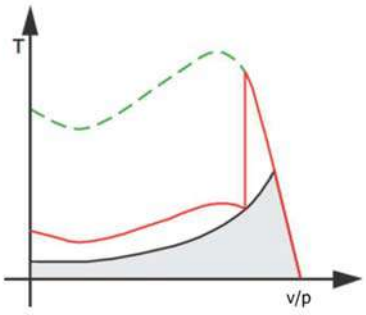
Khởi động động cơ: Khởi động trực tiếp (DOL)

Khởi động trực tiếp (Direct on line - DOL) là cách đơn giản và kinh tế nhất để khởi động động cơ không đồng bộ, nhưng nó gây ra dòng điện khởi động đáng kể, thường gấp 5 đến 7 lần dòng điện định mức.

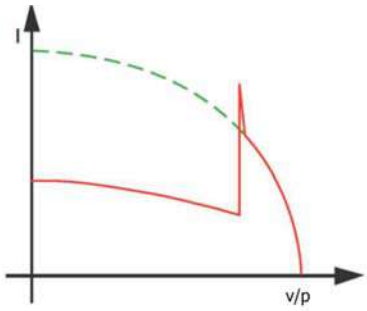


Khởi động động cơ: Sao / Tam giác





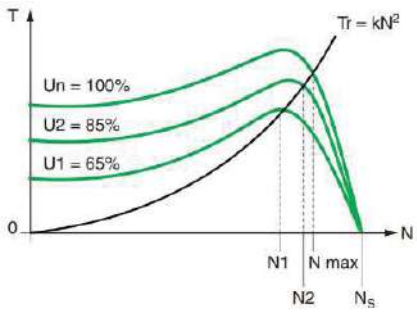
Đặc tính mô-men/tốc độ khi khởi động sao/tam giác

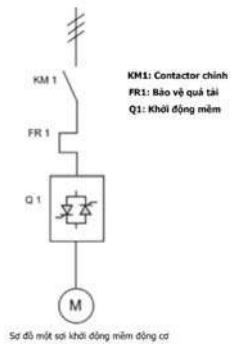


Đặc tính dòng điện khi khởi động sao/tam giác

Khởi động động cơ: Khởi động mềm

- Thiết bị điều khiển điện áp sử dụng một điện áp thấp hơn nhiều so với điện áp danh định cấp cho động cơ để giới hạn dòng điện khởi động.
- Khi động cơ bắt đầu quay chậm, điện áp sẽ được tăng dần theo từng bước cho đến khi động cơ đạt tốc độ làm việc.
- Ngoài ra, còn có khả năng dừng mềm, đặc biệt hữu ích cho băng tải và một số loại bơm.

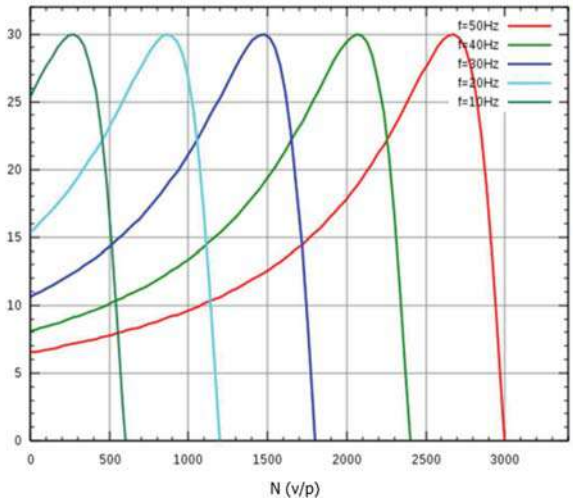




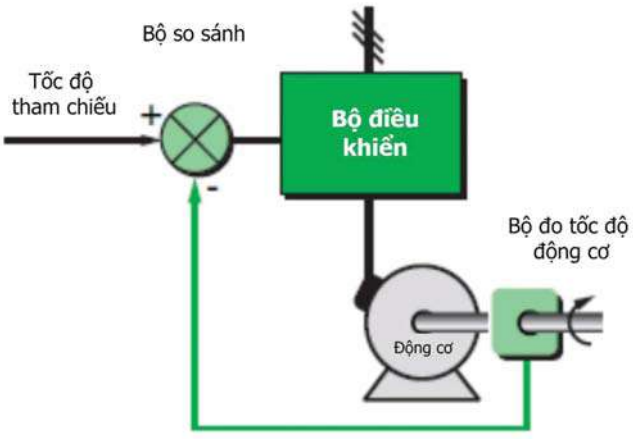
Sơ đồ một sợi khởi động mềm động cơ

Khởi động động cơ: Bộ điều chỉnh tốc độ động cơ (VSD)

- Thiết bị điều khiển thay đổi tần số để điều chỉnh tốc độ.
- Trong quá trình khởi động, nó hoạt động tương tự bộ khởi động mềm bằng cách giới hạn điện áp trong khi khởi động.
- Còn được gọi là bộ biến tần (VFD) và bộ điều chỉnh tốc độ (ASD)



Nguyên lý điều chỉnh tốc độ

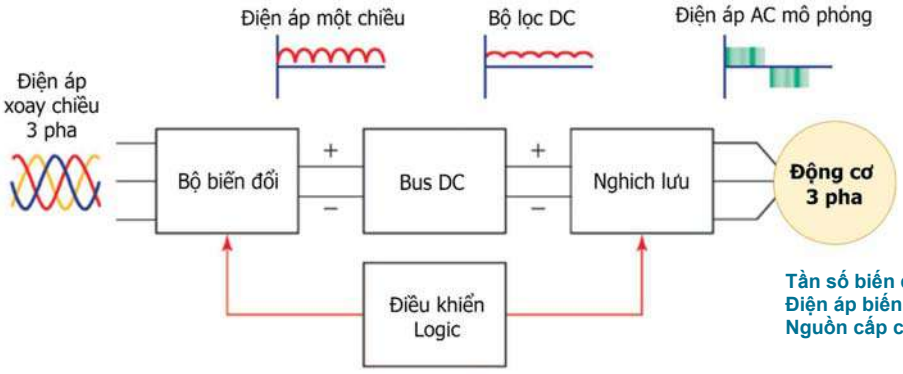


- Biến tần (VSD) cho phép điều khiển phản hồi vòng kín, giúp tốc độ được kiểm soát chính xác hơn.
- Trong nhiều trường hợp, điều này cải thiện chất lượng sản xuất và đôi khi cả sản lượng sản xuất

Bộ điều chỉnh tốc độ (VSD)

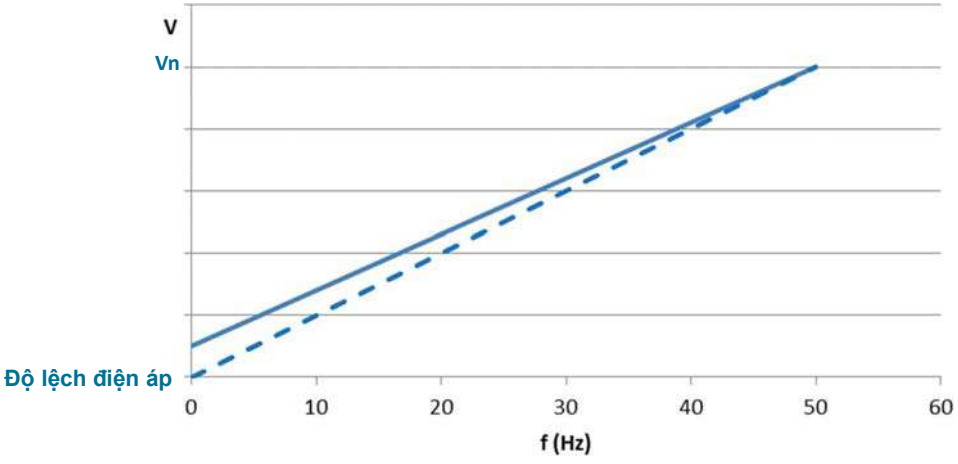
- Cũng có thể gọi là bộ điều chỉnh tần số (VFD)

50 Hz



Tần số biến đổi
Điện áp biến đổi
Nguồn cấp cho động cơ

Sự biến thiên điện áp theo tần số



Ưu điểm của VSD

- Tiết kiệm năng lượng nhờ điều khiển tốc độ
- Cải thiện hiệu suất động lực của động cơ không đồng bộ
- Hiệu suất cao của VSD (96–98%) và độ tin cậy lớn
- Hệ số công suất cao (nếu sử dụng bộ chỉnh lưu tích cực)
- Kích thước nhỏ gọn và linh hoạt trong bố trí lắp đặt
- Khởi động mềm (tiết kiệm) và hãm điều khiển/tái sinh
- Tích hợp các chức năng bảo vệ động cơ
- Giảm tiếng ồn và cải thiện khả năng điều khiển quá trình
- Ít hao mòn, giảm nhu cầu bảo dưỡng cơ khí

Các nhược điểm có thể có của VSD

- Bơm sóng hài lên lưới điện
- Xung điện áp dẫn đến hỏng cách điện trong cuộn dây của các động cơ cũ
- Dòng điện ổ trục gây hỏng hóc sớm
- Đưa một phần tử mới vào hệ thống (có thể ảnh hưởng đến độ tin cậy tổng thể của hệ thống)
- Có thể cần làm mát bổ sung

Đánh giá & Thảo luận

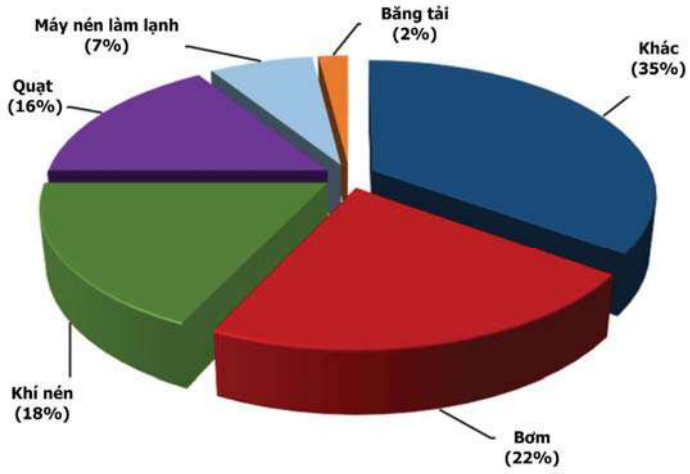
- Tại sao chúng ta cần điều khiển động cơ ?
- Những phương pháp nào có sẵn để điều khiển tốc độ động cơ ?
- Những phương pháp nào có sẵn để khởi động và dừng động cơ ?

Phần 8

Tải cơ khí của động cơ: Bơm

Mức tiêu thụ điện của hệ thống động cơ theo ứng dụng

Máy bơm, quạt và máy nén khí chiếm 56% các ứng dụng công nghiệp.



Tiêu thụ điện năng trong ngành công nghiệp của Liên minh Châu Âu
Nguồn: ISR – Đại học Coimbra (2012)

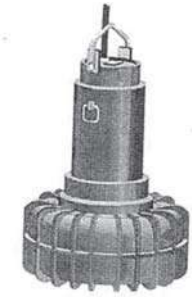
Ứng dụng bơm công nghiệp

Nhiệm vụ	Ví dụ ứng dụng
Hút, Vận chuyển	Dầu thô, Hóa chất, Nước trong đường ống
Tuần hoàn, Bơm chuyển	Các mạch của hệ thống sưởi và làm mát trong tòa nhà, Hệ thống làm mát và bôi trơn trong công nghệ máy móc
Nạp đầy, Xả cạn	Các nhà máy đóng chai, xả cạn các bể chứa bùn thải
Định lượng, Phân liều	Công nghệ phân tích, Ngành công nghiệp hóa chất, Phun nhiên liệu vào đầu đốt dầu và động cơ đốt trong
Tăng áp, Truyền lực	Cấp nước công nghiệp trong các tòa nhà nhiều tầng, Thử nghiệm áp suất và vật liệu trong chế tạo máy và nhà máy, Cắt bằng tia nước, Hệ thống truyền động thủy lực

Phân loại bơm

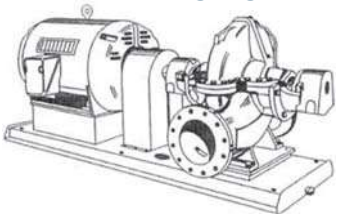
- Phân loại bơm
  - Bơm Rô-to quay (Ly tâm)
    - Bơm trục ngang
    - Bơm hút đôi
    - Tuabin trục đứng
    - Bơm đặc biệt
      - Bơm tia
      - Bơm xoáy
      - Bơm tuabin tái sinh
  - Bơm thể tích
    - Bơm tịnh tiến
      - Bơm Pít-tông
      - Bơm màng
    - Bơm quay
      - Bơm nhu động
      - Bơm trục vít
      - Bơm bánh răng

Ví dụ một số loại bơm ly tâm

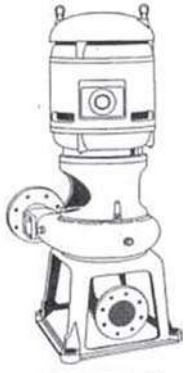


Bơm chìm

Bơm ngang trục



Bơm hướng trục

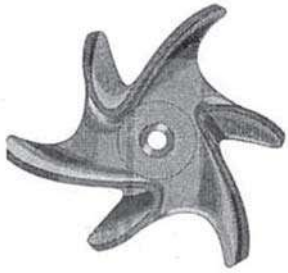


Bơm trục đứng

Hình ảnh được cung cấp bởi ACR Publications

Hình dạng cánh bơm

Nửa hở

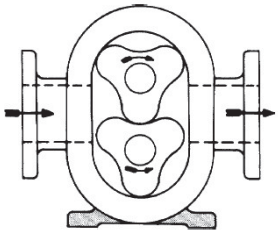


Kiểu hở

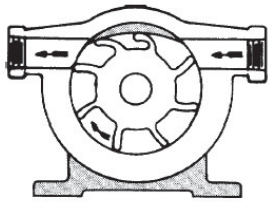
Kiểu kín

Hình ảnh được cung cấp bởi ACR Publications

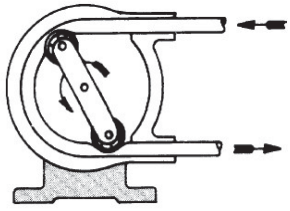
Ví dụ về một số loại bơm thể tích



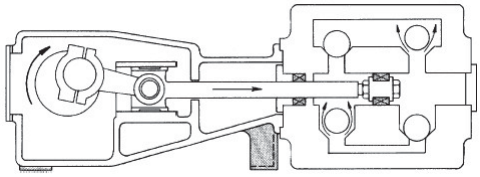
Bơm bánh răng



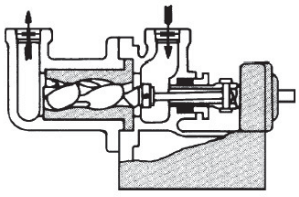
Bơm cánh mềm



Bơm nhu động



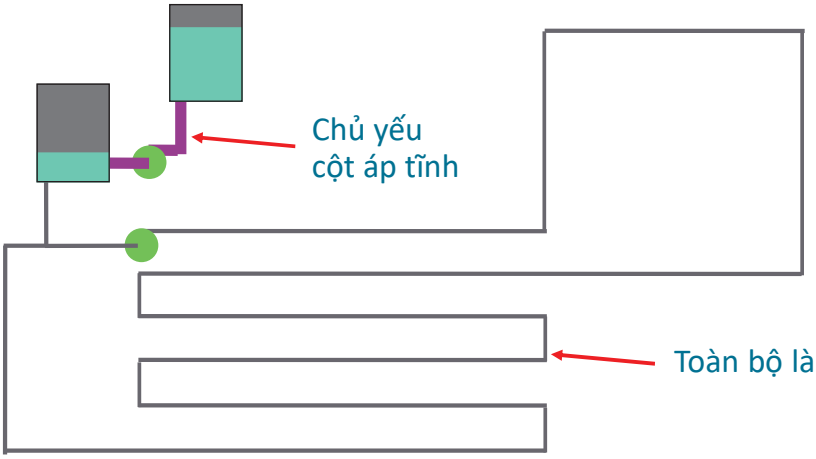
Bơm Pít-tông



Bơm trục vít

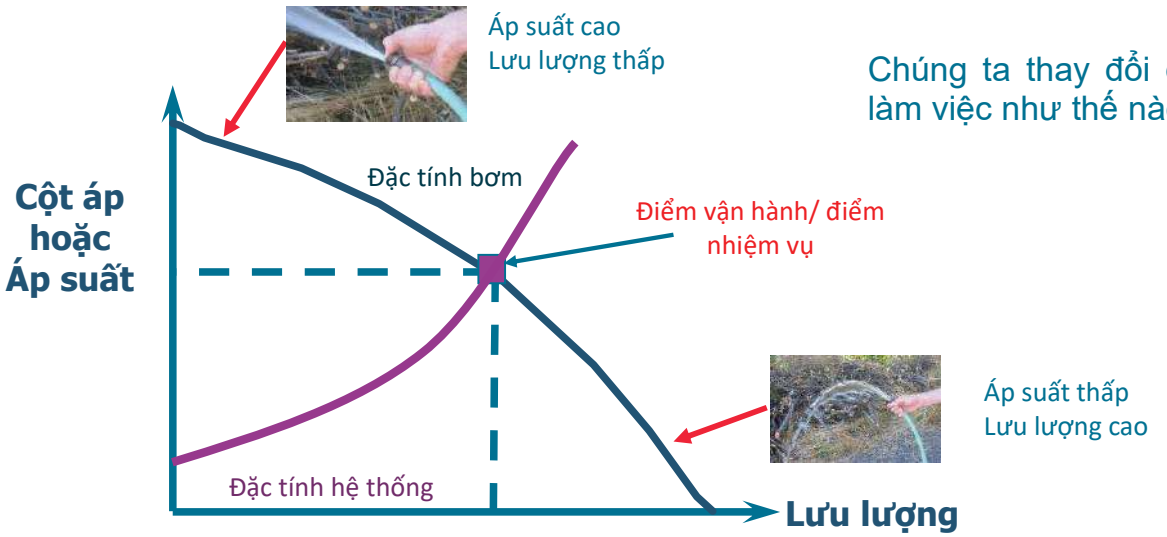
Hình ảnh được cung cấp Viện Thủy lực

2 dạng của phụ tải bơm



Hình ảnh được cung cấp bởi Phòng thí nghiệm quốc gia Oak Ridg

Kiến thức cơ bản về bơm – Mối quan hệ giữa áp suất và lưu lượng



Công suất chất lỏng của bơm (Thủy lực)

Chức năng: chuyển một chất lỏng từ điểm này sang điểm khác trong nhà máy

$$P_{fluid} = \frac{Flow\left(\frac{l}{s}\right) * Head(m) * Density}{102} = kW$$

$$P_{elec} = \frac{P_{fluid}}{\eta_{system}} \qquad \eta_{system} = \eta_{motor} * \eta_{trans} * \eta_{pump}$$

Với:

Density: Bằng 1 đối với nước

η_{system} : Hiệu suất của toàn bộ hệ thống bơm

Flow: Lưu lượng (l/s)

Head: Cột áp (m)

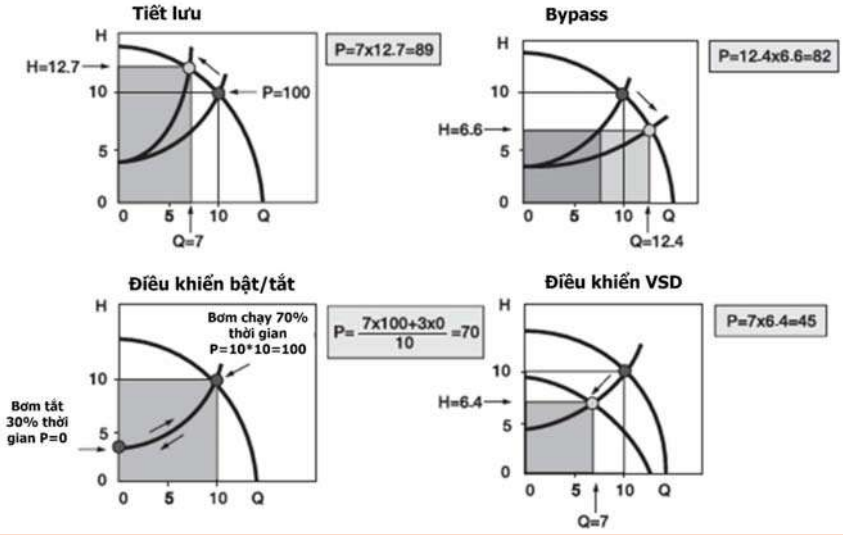
P_{elec}: Công suất điện

P_{fluid}: Công suất thủy lực

Các phương pháp điều khiển truyền thống

1. **Đường ống bypass (đường hồi)**
   - Bypass cho phép chất lỏng chảy vòng qua hoặc vượt qua thành phần sản xuất hoặc hệ thống, khi không cần dòng chảy chất lỏng.
2. **Điều khiển On/Off**
   - Dòng chảy chất lỏng được điều khiển bằng cách bật và tắt bơm. Thường yêu cầu bố trí nhiều bơm.
3. **Van tiết lưu**
   - Van tiết lưu hạn chế dòng chảy chất lỏng để giảm lưu lượng qua bơm, đồng thời tạo ra sụt áp trên van.
4. **Bơm nhiều tốc độ**
   - Các bơm được lắp động cơ hai tốc độ, có thể chuyển đổi giữa các tốc độ tùy theo lưu lượng chất lỏng yêu cầu.
5. **Cắt gọt cánh bơm**
   - Để đáp ứng yêu cầu tốc độ cụ thể của quá trình, cánh bơm có thể được cắt gọt nhằm xác định lại điểm làm việc của bơm hiệu quả hơn.
6. **Điều khiển tốc độ bơm**
   - Dòng chảy chất lỏng được điều khiển bằng tốc độ thực của bơm và bao gồm
     a. Cơ khí (bánh răng, dây đai, khớp nối thủy lực)
     b. Điện (VSDs – biến tần)

Các phương pháp điều khiển truyền thống



Mức tiêu thụ điện năng tương đối tại lưu lượng trung bình 70% với các phương pháp điều khiển khác nhau

Điều khiển	Năng lượng
Tiết lưu	89
Bypass	82
Điều khiển bật/tắt	70
Điều khiển VSD	45

Các định luật đồng dạng cho bơm

Mối quan hệ giữa:

- Tốc độ bơm (N),
- Đường kính cánh bơm(D)
- Lưu lượng (Q)
- Cột áp (H)
- Công suất (P)

- Sự thay đổi đặc tính làm việc của bơm được chi phối bởi các định luật đồng dạng.
- Các định luật này cho thấy hiệu suất bị ảnh hưởng như thế nào khi tốc độ bơm thay đổi hoặc khi đường kính cánh bơm thay đổi.

Cho thay đổi tốc độ

$$Q_{mới} = Q_{cũ} * \left(\frac{N_{mới}}{N_{cũ}}\right)$$

$$H_{mới} = H_{cũ} * \left(\frac{N_{mới}}{N_{cũ}}\right)^2$$

$$P_{mới} = P_{cũ} * \left(\frac{N_{mới}}{N_{cũ}}\right)^3$$

Cho thay đổi đường kính cánh bơm

$$Q_{mới} = Q_{cũ} * \left(\frac{D_{mới}}{D_{cũ}}\right)$$

$$H_{mới} = H_{cũ} * \left(\frac{D_{mới}}{D_{cũ}}\right)^2$$

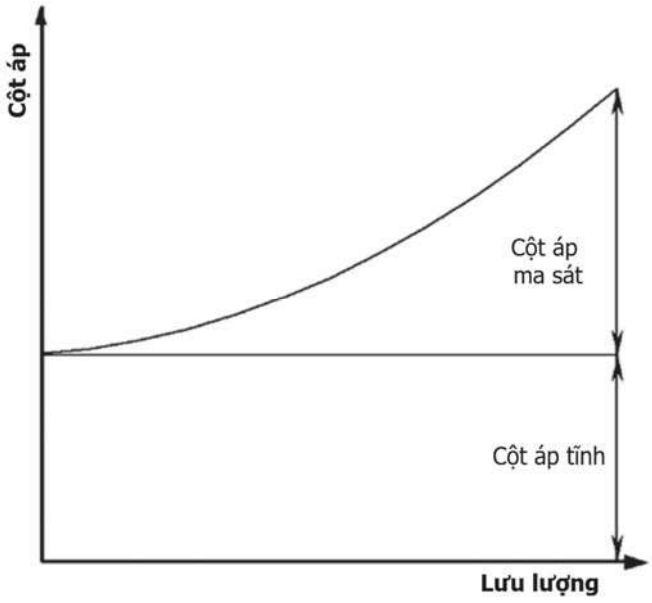
$$P_{mới} = P_{cũ} * \left(\frac{D_{mới}}{D_{cũ}}\right)^3$$

Bơm ly tâm

Tổng lực cản trở hệ thống từ các tổn thất ma sát (thay đổi theo hàm lập phương của tốc độ) cộng với tổn thất cột áp tĩnh để cung cấp lực nâng.

Tất cả tổn thất của hệ thống phải là tổn thất ma sát để các định luật đồng dạng có thể áp dụng.

Do đó, các hệ thống có cột áp tĩnh thấp thường là lựa chọn tốt hơn cho việc sử dụng VSDs.

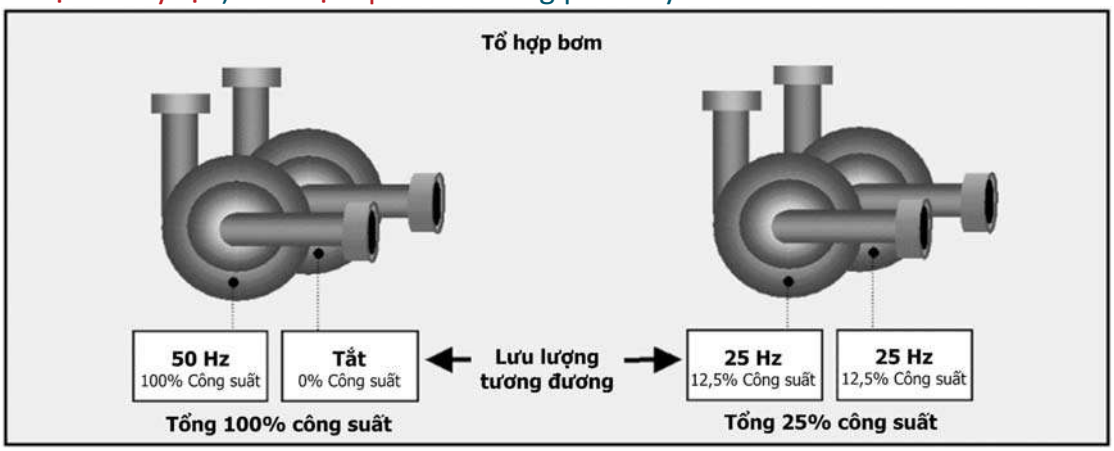


Hệ thống bơm – Chiến lược tiết kiệm năng lượng (Phía động cơ)

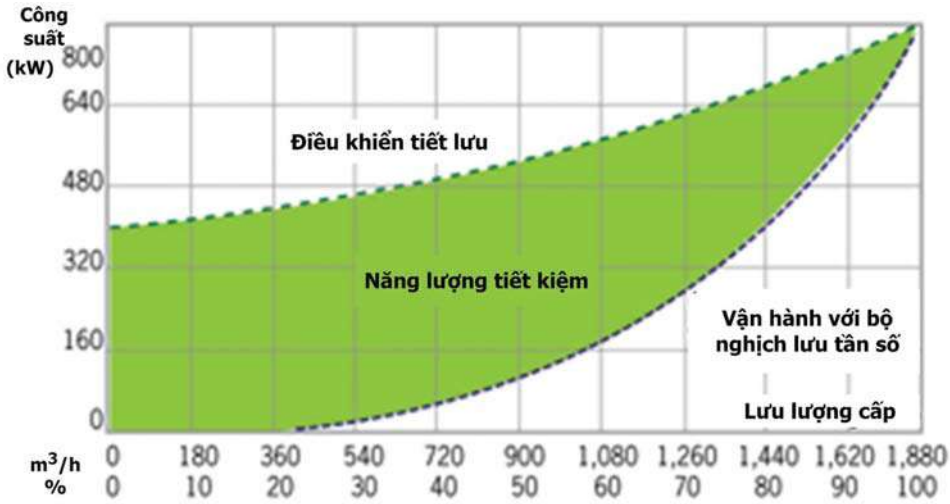
- Vận hành động cơ bơm ở điện áp phù hợp
- Giảm thiểu nhiễu trong chất lượng điện tại đầu vào của động cơ
- Thay thế các phương pháp điều khiển cơ học lưu lượng truyền thống (van tiết lưu, bypass, bật-tắt) bằng công nghệ VSD
- Thay thế động cơ, truyền động hoặc bơm bằng các mẫu hiệu suất cao hơn
- Cắt gọt cánh bơm cho một số ứng dụng tốc độ cố định

Ví dụ

Tổ hợp bơm: Mối quan hệ có lợi cần xem xét với các hệ thống tuần hoàn độc lập vòng kín (hai mạch thủy lực) khi "cột áp tĩnh" không phải là yếu tố chính



Ví dụ



Năng lượng tiết kiệm được khi thay thế điều khiển van tiết lưu bằng VFD được xác định bởi diện tích giới hạn giữa hai đường đặc tính công suất.

Hệ thống Bơm – Chiến lược tiết kiệm năng lượng (Phía tải)

Vận hành:

- Giảm thời gian chạy
- Giảm lưu lượng
- Giảm cột áp

Bảo trì:

- Sửa chữa rò rỉ
- Loại bỏ/giảm các lực cản trên đường ống
- Thay thế/sửa chữa cánh bơm bị ăn mòn

Thiết kế:

- Thiết kế lại hệ thống ống để giảm tổn thất cột áp
- Thiết kế cửa hút phải đảm bảo dòng chảy tới cửa hút đều và ổn định
- Khuyến nghị sử dụng một đoạn ống hút thẳng ít nhất bằng tám lần đường kính ngay trước mặt bích hút của bơm

Đánh giá & Thảo luận

- Hai loại bơm cơ bản là gì?
- Đề cập một số phương pháp điều khiển lưu lượng cho bơm.
- Tại sao bơm ly tâm sử dụng điều khiển lưu lượng cơ học là cơ hội tốt để tiết kiệm năng lượng?
- Định luật đồng dạng là gì?
- Các loại bơm nào áp dụng được các định luật này?

Phần 9

Tải cơ khí của động cơ: Quạt

Kiến thức cơ bản về Quạt: Quạt dùng để làm gì?

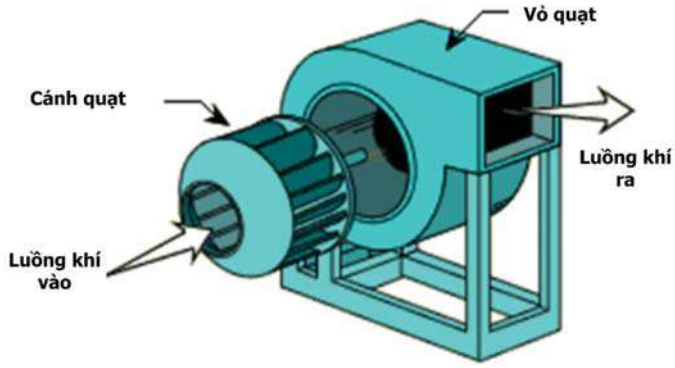
Chức năng: Chuyển không khí hoặc khí (lưu chất– fluid) từ một điểm này của hệ thống sang một điểm khác

LƯU Ý: Về mặt kỹ thuật cơ khí, chúng ta coi Không khí là một lưu chất. Vì vậy, bất kỳ chuyển động nào của không khí do quạt tạo ra đều được coi là dòng chảy "lưu chất".
Về khía cạnh này, dòng chảy lưu chất của khí trong quạt về mặt toán học rất giống với dòng chảy chất lỏng trong một máy bơm.

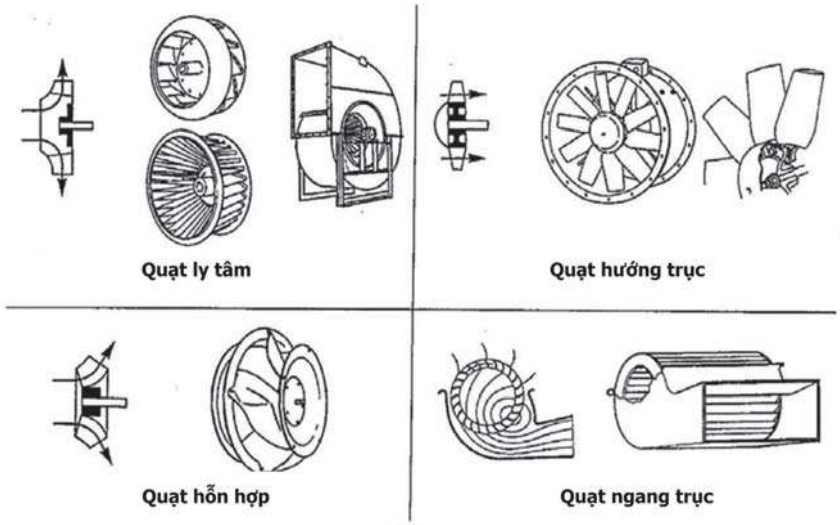
Tại sao quạt có hình dạng khác nhau?

Hiệu suất được quyết định bởi nhiều yếu tố:

- Loại quạt (hình dạng cánh)
- Đường kính cánh công tác
- Chiều rộng cánh công tác
- Tốc độ quay
- Mật độ lưu chất



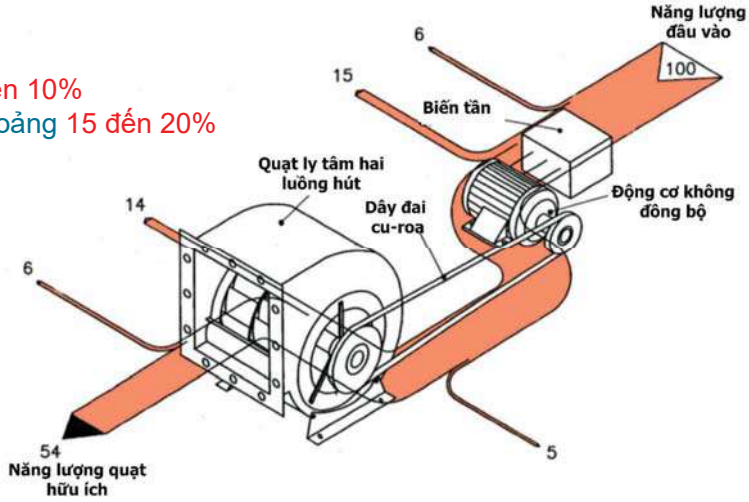
Loại quạt



Hệ thống quạt

Cách tiếp cận hệ thống:

- Tiềm năng tiết kiệm của quạt khoảng 5 đến 10%
- Tiềm năng tiết kiệm của hệ thống quạt khoảng 15 đến 20%



Các phương pháp điều khiển truyền thống

1. **Điều khiển On/Off:**
   - Dòng chảy lưu chất được điều khiển bằng cách bật và tắt quạt. Thường yêu cầu bố trí nhiều quạt.
2. **Cánh chắn gió đầu vào và đầu ra:**
   - Một van được đặt trước hoặc sau quạt để hạn chế luồng lưu chất, làm giảm lưu lượng qua quạt và đồng thời tạo ra sụt áp qua cánh chắn gió.
3. **Cánh hướng dòng đầu vào có thể điều chỉnh:**
   - Các cánh có góc nghiêng thay đổi, điều khiển hướng và lưu lượng dòng chảy tại cửa vào của quạt.
4. **Quạt nhiều tốc độ:**
   - Các quạt được lắp động cơ hai tốc độ, có thể chuyển đổi giữa các tốc độ tùy theo lưu lượng lưu chất yêu cầu.
5. **Cắt gọt cánh quạt:**
   - Để đáp ứng yêu cầu tốc độ cụ thể của quá trình, cánh quạt có thể được cắt gọt nhằm xác định lại điểm làm việc của quạt hiệu quả hơn.
6. **Điều khiển tốc độ quạt:**
   - Lưu chất được điều khiển bằng tốc độ thực của quạt và bao gồm
     a. Cơ khí (hộp số, dây đai, khớp nối thủy lực)
     b. Điện (VSDs – biến tần)

Cánh chắn gió

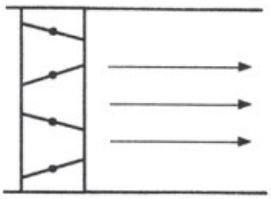
- Các nhà thiết kế thường có xu hướng chọn quạt quá cỡ để đảm bảo an toàn.
- Hệ thống sau đó cần được cân bằng (nếu có) bằng các cánh chắn gió.
- Một cánh chắn gió luôn đóng gần như hoàn toàn hoặc một phần là dấu hiệu cho thấy có cơ hội tối ưu hóa tốt.

Vị trí cánh chắn gió

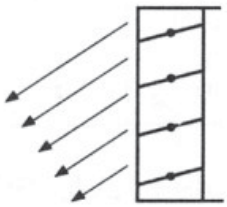
- Cánh chắn gió cửa hút là loại phổ biến nhất
- Cánh chắn gió cửa xả cũng phổ biến nhưng kém hiệu quả hơn nhiều
- Hoặc các cánh chắn gió được đặt ở vị trí khác trong hệ thống

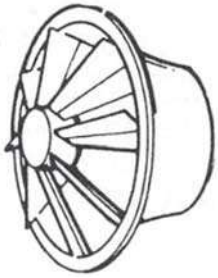
Loại cánh chắn gió (cho điều khiển lưu lượng)

Cánh chéo

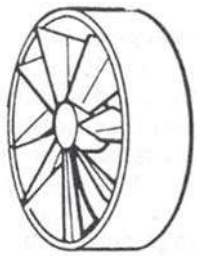


Cánh song song



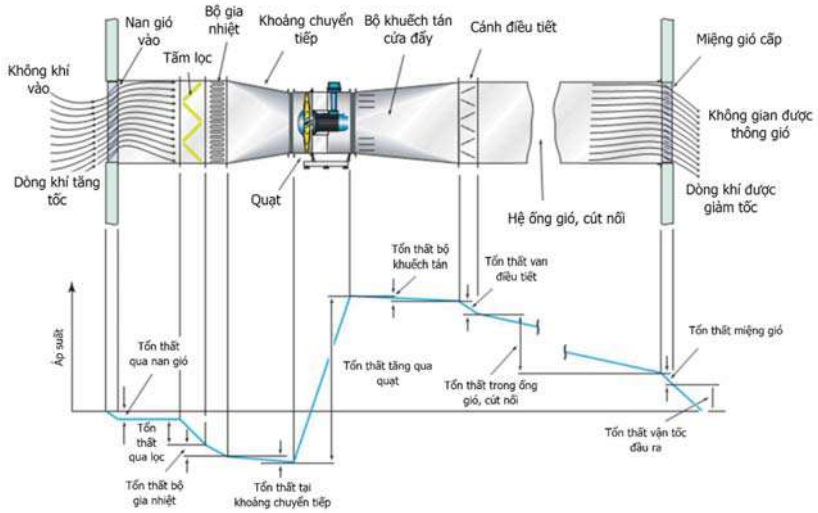


Cánh hướng gió dạng nón



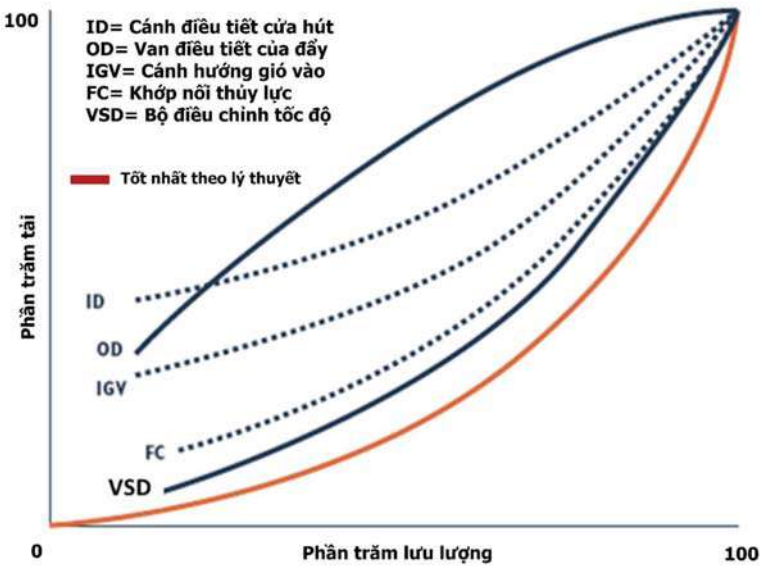
Cánh hướng gió dạng trụ

Tổn thất trong một hệ thống quạt điển hình



Nguồn : CIBSE Fan Application Guide

Các phương pháp điều khiển quạt một phần tải



Công suất dòng khí của quạt

Chức năng: Vận chuyển không khí hoặc khí (lưu chất – fluid) từ một điểm này của hệ thống sang một điểm khác

$$P_{fluid} = \frac{Flow\left(\frac{m^3}{s}\right) * Head(Pa) * Compressibility\ Factor}{1000} = kW_{fluid}$$

$$P_{elec} = \frac{P_{flu}}{\eta_{system}} \qquad \eta_{system} = \eta_{motor} * \eta_{trans} * \eta_{fan/pump}$$

Với:

Hệ số nén nằm trong khoảng 0,96 đến 1 tùy theo áp suất

η_{system} Hiệu suất của hệ thống quạt/bơm

Phát hiện tiềm năng tiết kiệm

Cần chú ý

- Thay đổi nhu cầu
- Thay đổi nhu cầu sau khi lắp đặt
- Công nghệ điều khiển cũ
- Các hệ thống kém hiệu quả

Nhưng sẽ khó hơn để xác định hoặc giải quyết các loại vấn đề khác sau đây

- Quạt lựa chọn không phù hợp (Cỡ hoặc chủng loại)
- Thiết kế hệ thống có vấn đề (Đường gió, bộ lọc...)

Hệ thống Quạt – Chiến lược tiết kiệm năng lượng (phía động cơ)

- Vận hành động cơ quạt ở điện áp phù hợp
- Giảm thiểu nhiễu điện áp tại đầu vào của động cơ
- Thay thế các phương pháp điều khiển dòng cơ học truyền thống (cánh chắn gió, bypass, bật-tắt) bằng công nghệ VSD
- Thay thế động cơ, truyền động hoặc quạt bằng các mẫu hiệu suất cao hơn
- Thay đổi loại quạt hoặc loại cánh quạt để phù hợp với yêu cầu tải
- Cắt gọt cánh quạt cho một số ứng dụng tốc độ cố định

Hệ thống Quạt – Chiến lược tiết kiệm năng lượng (phía tải)

Vận hành:
- Giảm thời gian chạy
- Giảm lưu lượng
- Giảm cột áp

Bảo trì:
- Sửa chữa rò rỉ (đặc biệt tại các mối nối và ống mềm)
- Đảm bảo các cánh chắn gió hoạt động và được điều chỉnh đúng
- Loại bỏ / giảm các lực cản trong đường ống dẫn – nguyên nhân gây tăng trở kháng hệ thống gồm lưới lọc, bộ lọc bị bẩn
- Vật cản tại cửa **hút** và cửa xả quạt làm rối loạn dòng chảy, gây ra nhiễu loạn

Thiết kế:
- Thiết kế lại đường ống để giảm tổn thất cột áp
- Thiết kế cửa hút phải đảm bảo dòng chảy tiếp cận cửa hút đều và ổn định
- Các đoạn cong đặt trực tiếp tại cửa hút quạt sẽ làm tăng tổn thất và cần tránh

Đánh giá & Thảo luận

- Đề cập một số phương pháp điều khiển lưu lượng cho quạt ?
- Những cơ hội nào là phù hợp để đặt ra các câu hỏi tối ưu hóa hệ thống quạt ?

Phần 10

Tải cơ học động cơ: Khí nén

Tại sao sử dụng khí nén trong công nghiệp

Động lực

Như một nguồn năng lượng cho công việc

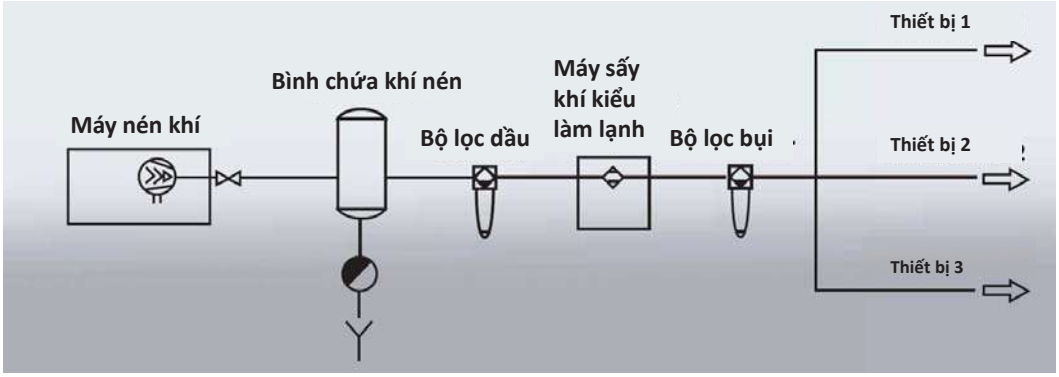
Quy trình

Không khí trở thành một phần của quy trình

Điều khiển

Để dừng, khởi động hoặc điều chỉnh hoạt động của máy móc

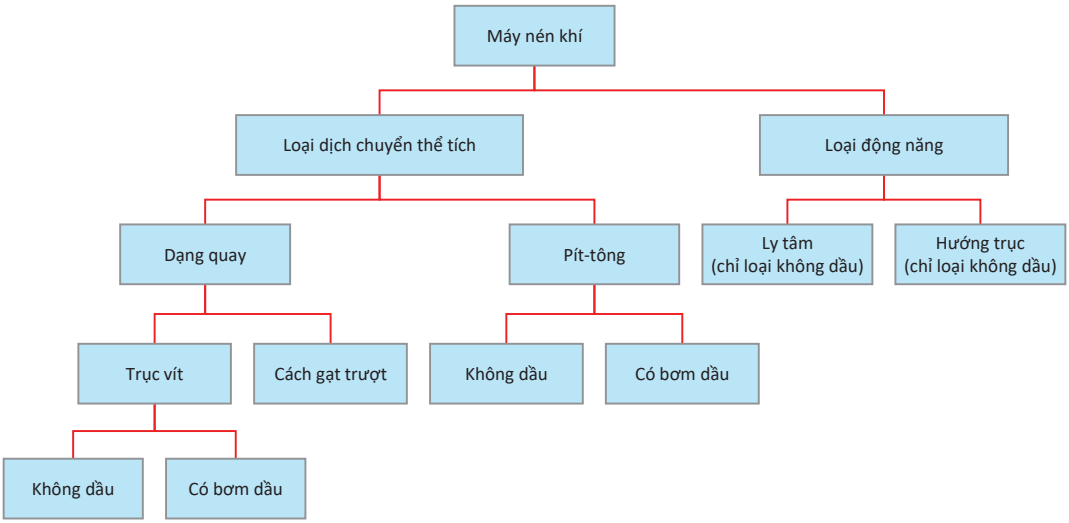
Hệ thống khí nén điển hình



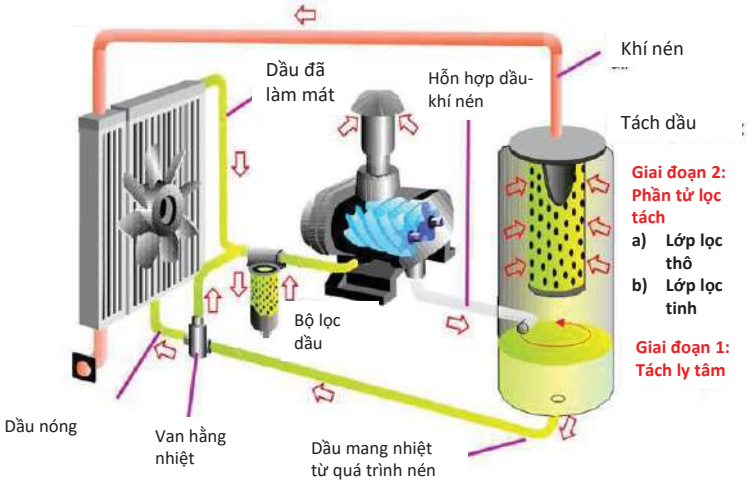
Nguồn năng lượng đến từ đâu?

Điều gì thúc đẩy máy nén khí?

Các họ máy nén khí



Máy nén trục vít có bơm dầu



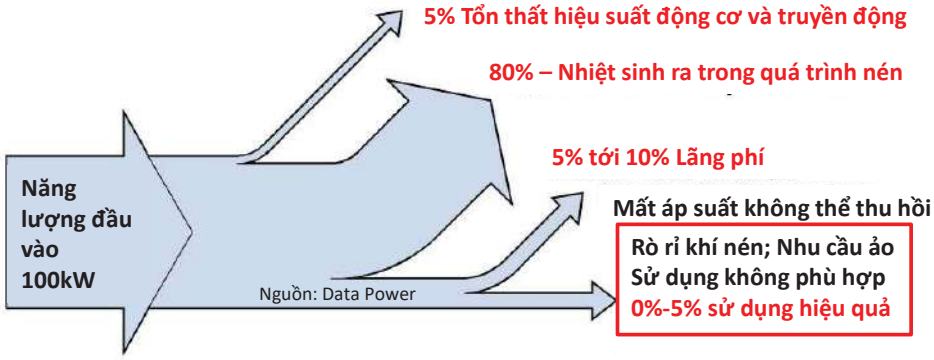
Tại sao khí nén lại có nhiều tiềm năng cải thiện hiệu suất?

Phần lớn các hệ thống khí nén ban đầu được thiết kế với:

- Giả định rằng "nhiều hơn" là tốt hơn, khi nói về nguồn cung
- Ít hoặc không quan tâm tới hiệu suất của hệ thống
- Không có kế hoạch cho việc tăng hoặc giảm nhu cầu hệ thống
- Chọn mua hệ thống có chi phí đầu tư ban đầu thấp nhất
- Nhu cầu ban đầu rất khác so với tình hình thực tế đã thay đổi theo thời gian

Và... chúng cũng cần được bảo dưỡng thường xuyên

Chuyển đổi năng lượng khí nén

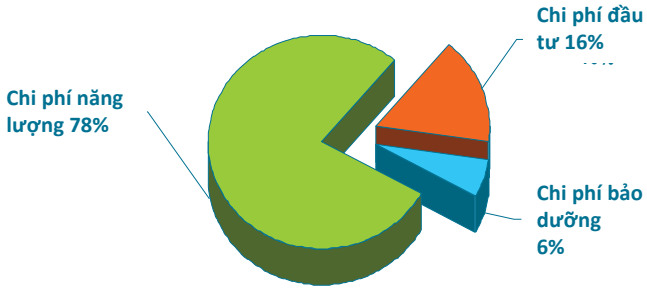


- Khoảng 15% năng lượng điện đầu vào được chuyển đổi thành năng lượng khí nén, tỷ lệ ~7:1.
- Thực tế, **năng lượng khí nén đắt gấp 7 lần điện năng**!

Hệ thống khí nén

- Khí nén chiếm 10% lượng điện tiêu thụ công nghiệp
- Hệ thống khí nén thường có hiệu suất năng lượng thấp: tiềm năng tiết kiệm năng lượng có thể nằm trong khoảng từ 5% đến 50%...

Giả định
- Công suất 110 kW
- Tuổi thọ thiết bị 15 năm
- Thời gian vận hành 4000 giờ/năm
- Giá điện 0,05US$/kWh



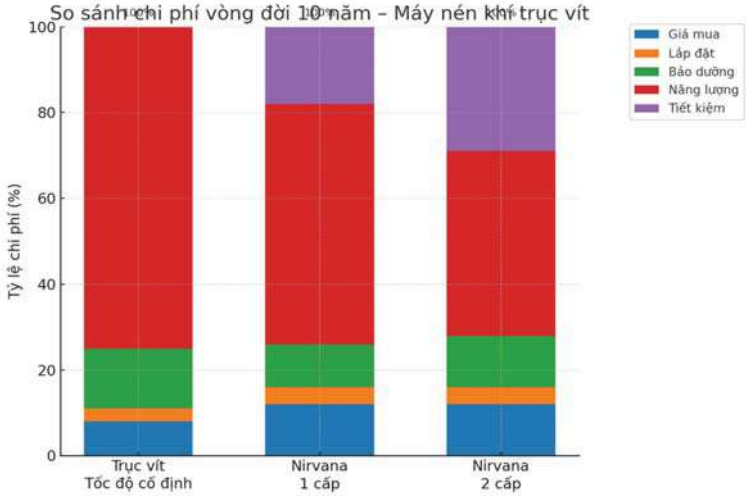
Giá cung cấp khí nén/kWh là xấp xỉ 7 đến 10 lần giá điện

Chi phí vận hành máy nén khí điển hình

Chỉ mục	Máy nén trục vít làm mát bằng không khí 160 kW điển hình
Chế độ làm việc:	Đầy tải ở 7,5 bar, 4200 giờ/năm, không tải 4000 giờ/năm
Giá điện:	0,13 USD / kWh
Công suất:	182,5 kW (đầy tải), 58 kW (không tải)
Lưu lượng:	30,3 m^3 / phút
Công suất cụ thể	6,02 kW / m^3/phút
Công thức chi phí	kW x giờ x giá điện
Công thức chi phí	$ 130.000 mỗi năm

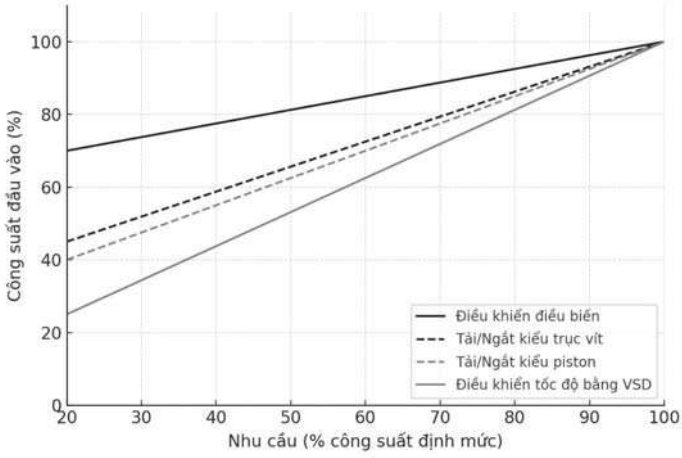
So sánh với giá mua = $ 126.000

So sánh chi phí vòng đời



Máy nén khí tốc độ biến đổi Ingersol Rand Nirvana

Các phương pháp điều khiển máy nén

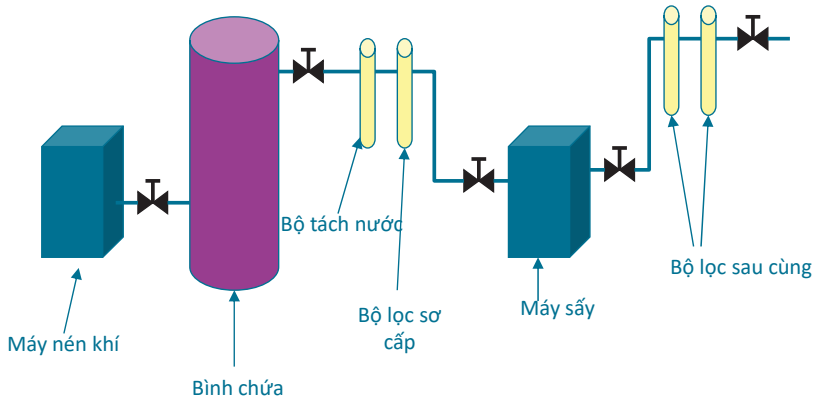


Có thể tiết kiệm năng lượng bằng cách sử dụng VSD cho máy nén khí trục vít, nhưng các cơ hội tiết kiệm năng lượng chi phí thấp thường được tìm thấy ở khâu ứng dụng khí nén trong nhà máy.

Hệ thống xử lý khí nén

Giảm nước, bụi và dầu trong khí nén được cấp

Xử lý nguồn khí chính ở mức chất lượng tối thiểu, sau đó nâng cấp tại điểm sử dụng khi cần thiết



Tối ưu hóa hệ thống khí nén

1. Giảm lượng khí sử dụng
2. Tối ưu khâu tạo khí và điều khiển máy nén
3. Cải thiện chất lượng khí cấp cho quy trình
4. Tận thu năng lượng từ nhiệt của quá trình nén

Hệ thống khí nén – Chiến lược tiết kiệm năng lượng

- Rò rỉ là nguyên nhân gây lãng phí năng lượng lớn nhất liên quan đến việc sử dụng khí nén.
- Xem xét các phương pháp thay thế cho các ứng dụng áp suất thấp như khuấy trộn, đẩy chi tiết, vệ sinh, làm mát và loại bỏ khói – các công việc này có thể thực hiện hiệu quả với chi phí thấp hơn nhiều bằng quạt gió hoặc bộ khuếch đại khí.
- Sử dụng áp suất hệ thống thấp nhất có thể – mỗi khi tăng 1 bar áp suất hệ thống sẽ cần thêm 7% công suất.
- Tổn thất áp suất đường ống tỉ lệ thuận với chiều dài ống và tỉ lệ nghịch với đường kính ống – duy trì vận tốc khí dưới 9 m/s.

Hệ thống khí nén – Chiến lược tiết kiệm năng lượng

- Lắp đặt cửa hút khí ở vị trí có không khí sạch nhất, khô nhất và mát nhất có thể – ưu tiên ngoài trời nếu có thể.
- Máy nén khí nạp áp suất cho hệ thống đến mức cài đặt trước và duy trì bằng nhiều phương pháp như tuần hoàn, xả khí, khởi động/dừng và điều khiển tốc độ bằng VSD – tối ưu điều khiển để đáp ứng đúng nhu cầu.
- Chọn hệ thống lọc có độ sụt áp thấp nhất.
- Hệ thống máy nén khí thải ra một lượng lớn nhiệt thải cấp thấp, có thể tận dụng hiệu quả cho một số quy trình công nghiệp, nước cấp cho nồi hơi, hệ thống sưởi hoặc thông gió.

Tổn thất rò rỉ

	Lưu lượng tiêu thụ khí ở 6 bar (m^3/phút)		Công suất tổn thất (kW)	
Đường kính lỗ (mm)	Lỗ sắc hệ số 0,61	Lỗ tròn hệ số 0,97	Công suất trục (6,2 kW / m^3/phút) (kW)	Công suất gói (7,1 kW / m^3/phút) (kW)
1 mm	0,040	0,064	0,25 – 0,40	0,28 – 0,45
2 mm	0,16	0,25	0,62 – 1,5	1,1 – 1,8
3 mm	0,35	0,56	2,2 – 3,1	2,5 – 4,0
4 mm	0,63	1,00	3,9 – 6,2	4,5 – 7,1
6 mm	1,42	2,26	8,8 – 14,0	10,0 – 16,0

Một điểm rò rỉ liên tục có thể nghe thấy (±2 mm) sẽ tiêu tốn thêm 1,5 kW và gây tốn kém **20.000 ZAR**/năm.

Với giá điện 0,10 USD/kWh, một lỗ rò 6 mm tiêu tốn thêm 12 kW và gây tốn kém hơn 10.000 USD/năm cho chi phí điện, chưa kể chi phí bảo trì bổ sung cho thiết bị khí nén.

Tiết kiệm tương đối cho các cơ hội khác nhau

Giải pháp	Tỷ lệ hệ thống áp dụng điển hình (%)	Phạm vi tiết kiệm điển hình (%)
Tích hợp điều khiển tập trung cho nhiều hệ thống máy nén	75%	12% – 57%
Dung tích lưu trữ được thiết kế và kiểm soát	30%	8% – 28%
Thu hồi nhiệt thải	13%	19% – 65%
Tình trạng máy nén: Cải thiện làm mát, sấy khô, lọc	20%	1% – 4%
Cải thiện mạng lưới phân phối	35%	4% – 18%
Nhu cầu ảo	65%	5% – 13%
Sử dụng không phù hợp	38%	5% – 32%
Kiểm soát rò rỉ khí nén	70%	8% – 25%
Thực hành xử lý nước ngưng	33%	2% – 41%

Nguồn : Williams, A. 2018

Đánh giá & Thảo luận

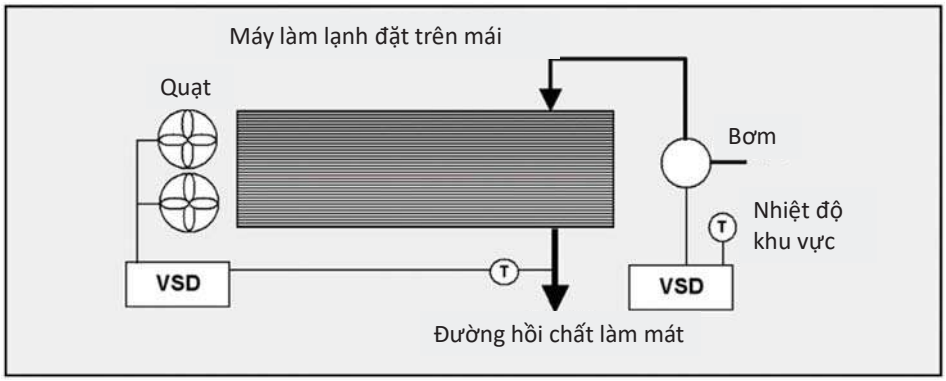
- Bao nhiêu phần trăm năng lượng đầu vào thường được chuyển đổi thành năng lượng khí nén?
- Loại máy nén khí phổ biến nhất trong các cơ sở công nghiệp là gì?
- Cơ hội đầu tiên cần được giải quyết để tối ưu hóa khí nén là gì?

Phần 11

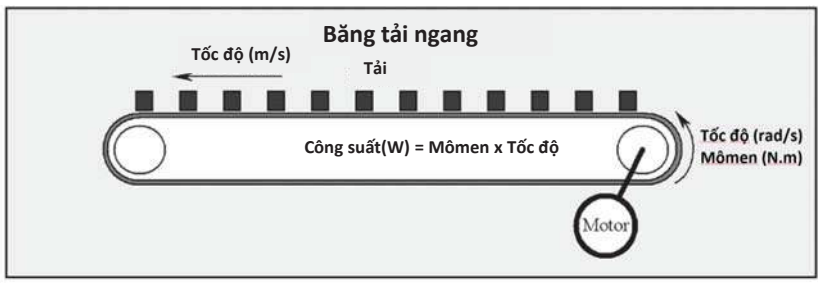
Tải cơ khí động cơ: Các ứng dụng VSD khác

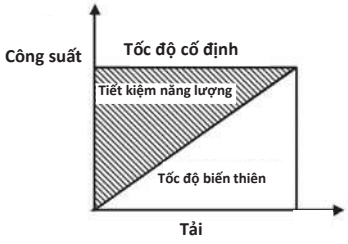
Ứng dụng VSD cho máy làm lạnh

Ứng dụng VSD cho máy làm lạnh đặt trên mái



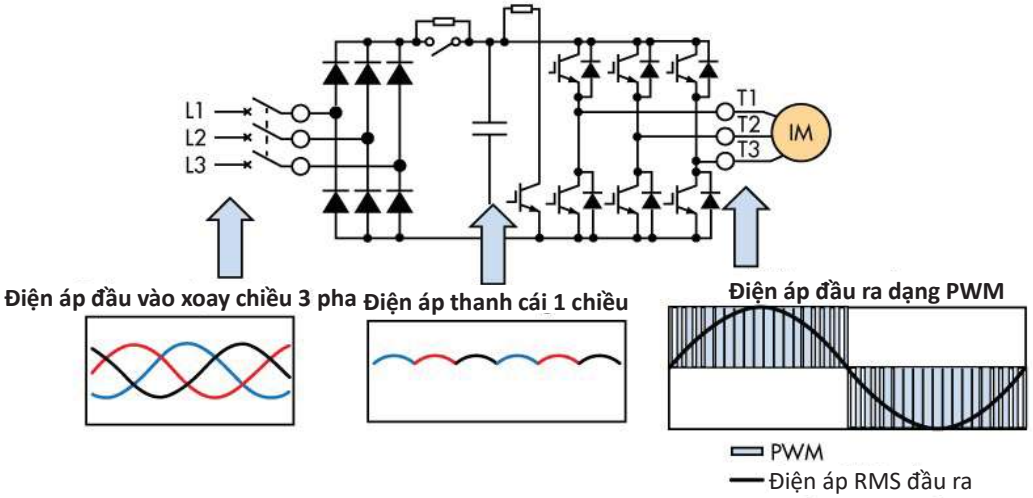
VSD trong băng tải





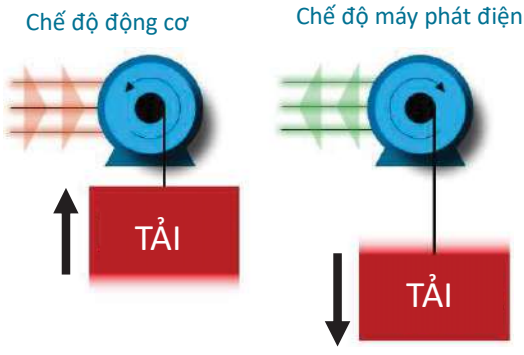
Tiết kiệm năng lượng trong băng tải sử dụng điều khiển tốc độ, có liên quan đến tốc độ không đổi điển hình

VSD



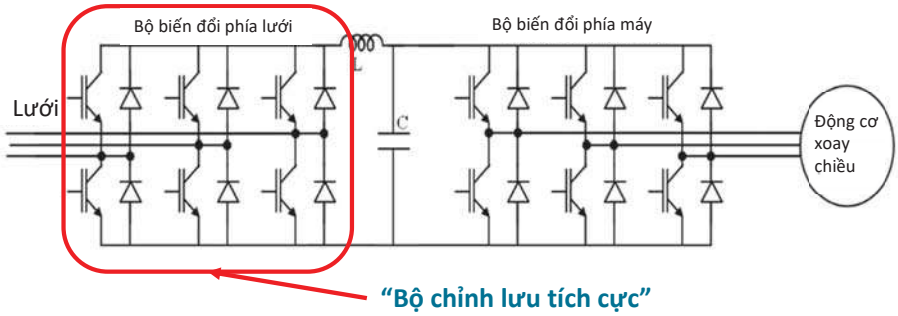
Tái sinh bằng động cơ điện

- Tái sinh là một cơ hội tốt để tiết kiệm năng lượng trong nhiều ứng dụng vận chuyển vật liệu.
- Cơ hội tái sinh xuất hiện khi tải cơ khí dẫn động động cơ.
- Một VSD có đầu vào chủ động là cần thiết để cho phép năng lượng chảy ngược, tức là từ động cơ (hoạt động như một máy phát điện) trở về mạng điện cung cấp.

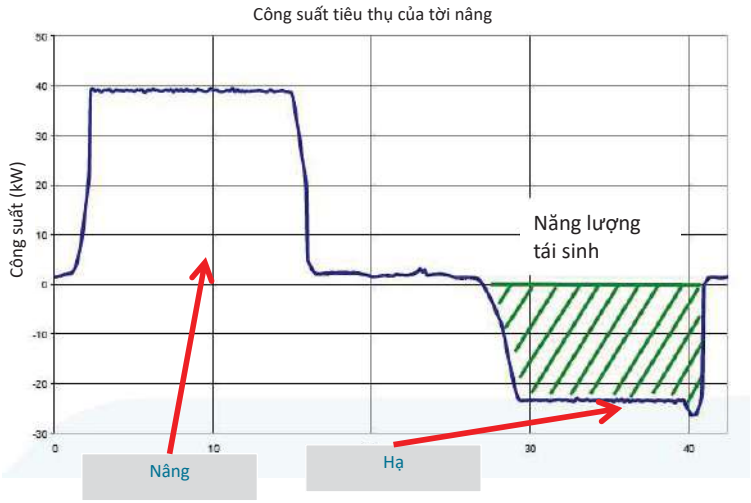


VSD với dòng công suất hai chiều

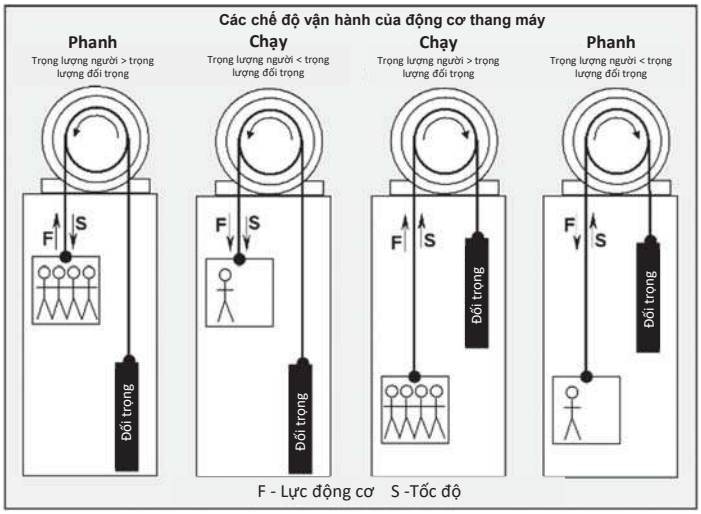
- Điều khiển truyền động bốn góc phần tư cho phép tái sinh năng lượng điện từ động cơ khi hoạt động ở chế độ phát điện.



Năng lượng tái sinh từ cầu trục (trục Y)



VSD trong thang máy



Ứng dụng VSD giúp tiết kiệm năng lượng phổ biến

1

Máy bơm ly tâm, quạt và máy nén – trong đó mô-men xoắn tăng theo bình phương tốc độ quay của động cơ.

Công suất điện tăng mạnh theo tốc độ (có thể đến lũy thừa bậc ba), vì vậy chỉ cần điều chỉnh nhỏ phù hợp với nhu cầu quy trình có thể mang lại mức tiết kiệm lớn.

2

Băng tải, thang cuốn, tời, cần trục và các thiết bị tương tự – trong đó mô-men xoắn hầu như không phụ thuộc vào tốc độ.

Hiệu quả tiết kiệm chi phí và năng lượng thấp hơn so với nhóm đầu tiên vì công suất đầu vào chỉ thay đổi tuyến tính theo tốc độ. Việc phanh tái sinh có thể giúp tiết kiệm bổ sung.

Ứng dụng VSD giúp tiết kiệm năng lượng phổ biến

3

Thay đổi tải và tốc độ – có thể tận dụng VSD theo nhiều cách khác như điều khiển quy trình, khởi động/dừng mềm, hoặc khi cần mô-men khởi động cao bất thường hay phanh tái sinh.

Hiệu quả tiết kiệm chi phí và năng lượng thấp hơn so với hai nhóm đầu tiên. VSD cho phép tối ưu hóa điện áp để cải thiện hiệu suất động cơ nếu mô-men xoắn thay đổi.

4

Điều khiển chuyển động (Motion Control) – biến tần AC hiện nay có thể cung cấp khả năng điều khiển mô-men/tốc độ hiệu suất cao, tương tự như các bộ điều khiển servo motor.

Lợi ích của ứng dụng VSD

- Tiết kiệm năng lượng và chi phí lớn (có thể 20% – 70%)

Phù hợp hơn giữa máy móc với các yêu cầu quy trình

- Tăng tính linh hoạt
- Kiểm soát quy trình tốt hơn
- Tăng năng suất

- Kiểm soát khởi động và dừng tốt hơn
- Giảm dòng khởi động
- Giảm áp lực lên hệ thống = giảm nhu cầu bảo trì và kéo dài tuổi thọ.

Các yếu tố cần cân nhắc khi sử dụng VSD

Không sử dụng khi

- Tiết kiệm chi phí không mang lại hiệu quả tài chính.
- Ít cơ hội để giảm tốc độ.
- Nhu cầu của quy trình ít biến động.
- Thiết bị liên quan không cho phép thay đổi tốc độ.
- Hệ thống bơm có cột áp tĩnh lớn.
- Có các thiết bị khác nhạy cảm với sóng hài.

Các yếu tố cần cân nhắc khi sử dụng VSD

Cài đặt
Có đủ không gian vật lý để lắp đặt biến tần
Làm mát đầy đủ, không bụi, không ẩm
Đảm bảo hệ thống cáp và bộ lọc điện phù hợp
Đảm bảo cách điện của động cơ đầy đủ
Thực hiện đúng quy trình chạy thử

Đánh giá & Thảo luận

- Tỷ lệ tiết kiệm cho một băng tải khi giảm xuống còn một nửa tốc độ bằng VSD là bao nhiêu?
- Loại biến tần đặc biệt nào cần thiết để một động cơ có thể phát điện?
- Khi nào chúng ta không nên sử dụng VSD?

Phần 12

Chất lượng điện & Hệ số công suất

Định nghĩa về Chất lượng Điện năng

Theo **góc độ chất lượng:**

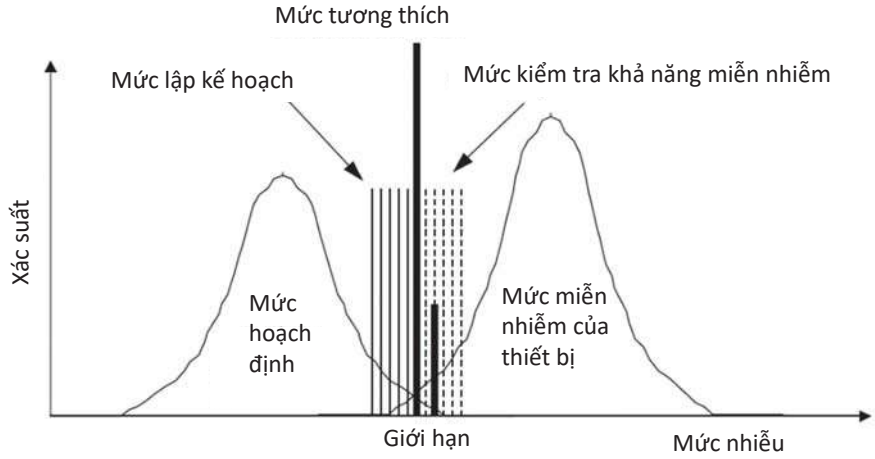
- Có thể được định nghĩa là việc đo lường, phân tích và cải thiện điện áp thanh cái (bus voltage) nhằm duy trì dạng sóng hình sin ở điện áp và tần số định mức.[1]

Theo góc độ **khả năng tương thích**:

- Là khả năng của một thiết bị hoặc hệ thống hoạt động thỏa đáng trong môi trường điện từ (EM) của nó (khả năng miễn nhiễm), mà không gây ra các nhiễu điện từ không thể chấp nhận được đối với bất kỳ đối tượng nào khác trong môi trường đó (phát xạ).[2]

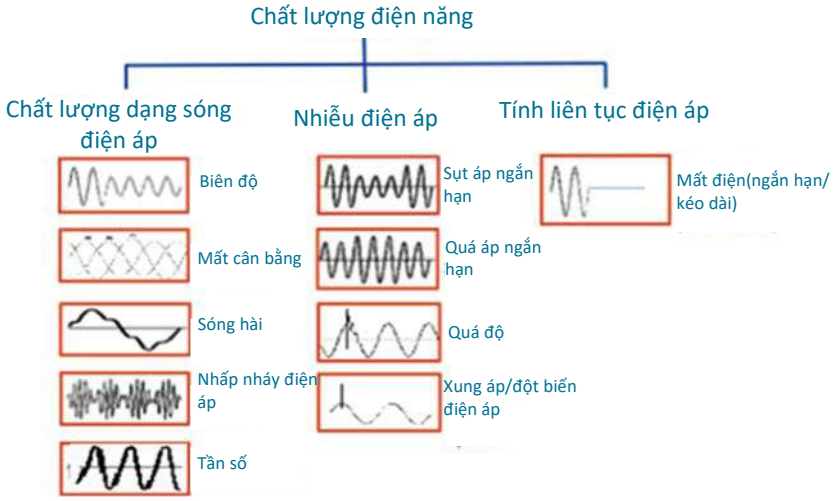
1. Masoum et al. Power quality in Power systems and electrical machines
2. International Electroctechnical Commission (IEC)

Tương thích điện từ



Nguồn: UNIDO Power Quality Course: South Africa 2020

Các loại hiện tượng chất lượng điện năng

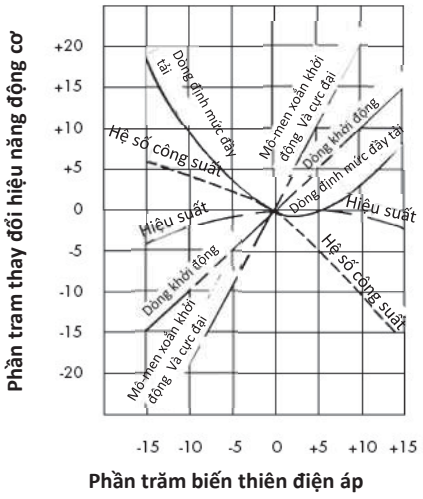


Nguồn: Eskom Power Quality Course Notes

Ảnh hưởng của sự thay đổi điện áp đến hiệu suất động cơ

Duy trì mức điện áp

- Khi hoạt động ở mức điện áp thấp hơn 95% so với điện áp thiết kế, động cơ thường bị giảm 2 đến 4 điểm hiệu suất.
- Vận hành động cơ ở mức điện áp cao hơn điện áp thiết kế cũng làm giảm hệ số công suất và hiệu suất.



Cách tính độ mất cân bằng điện áp

Mất cân bằng điện áp thực

Cần sử dụng phép biến đổi Fortescue

$$\%\ VU = \frac{Thành\ phần\ điện\ áp\ thứ\ tự\ nghịch}{Thành\ phần\ điện\ áp\ thứ\ tự\ thuận} \times 100$$

Mất cân bằng điện áp ước tính

Áp dụng tốt cho các giá trị mất cân bằng dưới 10%

$$\%\ VU = \frac{Độ\ lệch\ điện\ áp\ lớn\ nhất\ so\ với\ điện\ áp\ đường\ dây\ trung\ bình}{Điện\ áp\ đường\ dây\ trung\ bình} \times 100$$

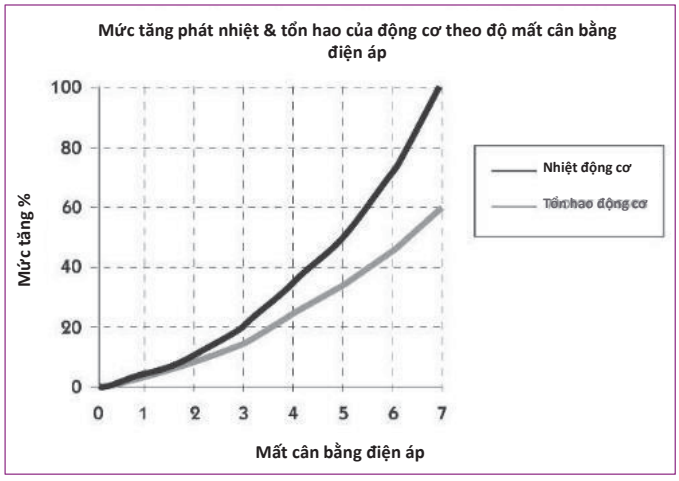
ANSI/NEMA Standard MG1-1993 (USA)

Mất cân bằng điện áp ở động cơ

Ảnh hưởng của điện áp mất cân bằng đến nhiệt độ cuộn dây.

Mức tăng nhiệt độ bằng hai lần bình phương của % mất cân bằng điện áp.

Mức tăng = 2 x (Mất cân bằng %)²



Nguồn: www.pumpsandsystems.com

Bài tập ngắn (10 Phút)

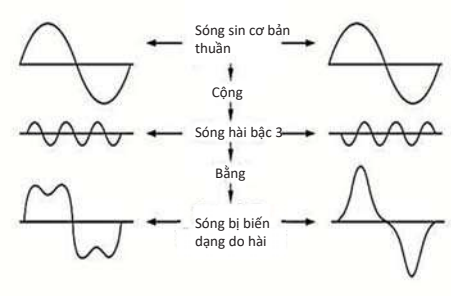
- Giả sử một động cơ 250 kW vận hành ở mức tải 75%, 8.000 giờ mỗi năm với 2,5% mất cân bằng điện áp.

Hiệu suất động cơ trong điều kiện điện áp mất cân bằng			
Tải động cơ % định mức	Hiệu suất động cơ, %		
	Mất cân bằng điện áp		
	Danh định	1%	2.5%
100	94.4	94.4	93.0
75	95.2	95.1	93.9
50	96.1	95.5	94.1

- Tính toán mức tiết kiệm nếu thực hiện biện pháp khắc phục để cải thiện mất cân bằng xuống 1%.
- Điều gì sẽ xảy ra với nhiệt độ vận hành?

Sóng hài

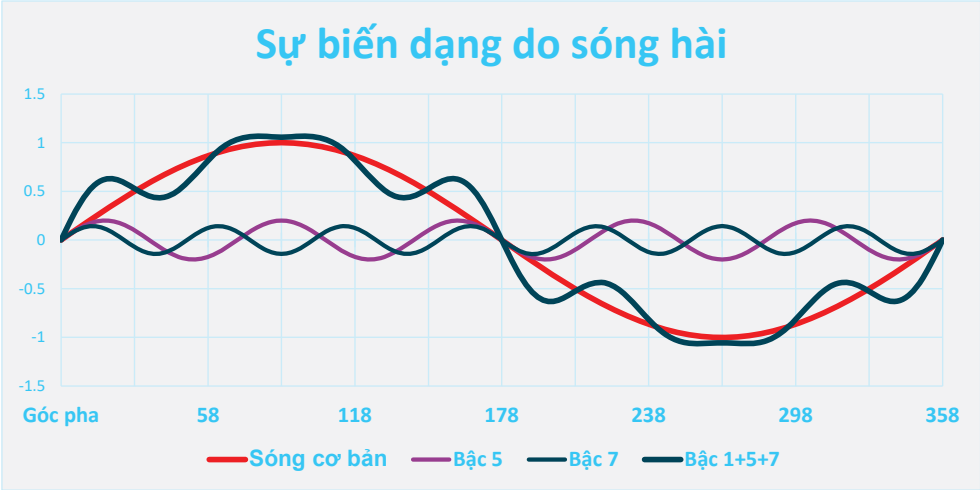
- Sóng hài là những dạng sóng có tần số là bội số nguyên (1, 2, 3, …) của sóng gốc, được gọi là sóng cơ bản (fundamental waveform).
- Khi sóng hài kết hợp với sóng cơ bản, dạng sóng tổng hợp mới sẽ bị biến dạng.



Tần số = 50 Hz

Tần số =3 x 50 Hz = 150 Hz (sóng hài bậc 3)

Sự biến dạng của sóng cơ bản



Độ biến dạng sóng hài tổng (THD)

Độ biến dạng sóng hài tổng là biên độ của sự biến dạng sóng hài trong một hệ thống.

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^{\,2} + V_3^{\,2} + V_4^{\,2} + ... + V_N^{\,2}}}{V_1} \times 100$$

Trong đó:

- *n* là bậc sóng hài
- *n=1* là tần số cơ bản của sóng lý tưởng

Giới hạn biến dạng sóng hài điện áp (Việt Nam)

Mức biến dạng sóng hài điện áp tối đa cho phép

Mức điện áp	Tổng biến dạng sóng hài(THD)	Biến dạng riêng lẻ
500kV, 220kV	3.0%	Không quy định
110 kV	3.0%	1.5%
Điện áp trung thế	5.0%	3.0%
Điện áp hạ thế	8.0%	5.0%

Đồng thời cũng có giới hạn dòng điện ở điện áp thấp

- *20% nếu tải <50kW*
- *12% nếu tải >50 kW*

Tham chiếu: Thông tư 05_2025_TT-BCT-642994

Nguyên nhân gây ra sóng hài

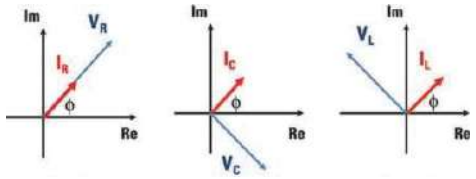
- Sóng hài và sự biến dạng sóng hài được gây ra bởi sự hiện diện của các tải phi tuyến

Nguồn gốc của tải phi tuyến

- Máy hàn, lò hồ quang, lò phản ứng
- Các thiết bị điện tử công suất như VSD, bộ khởi động mềm, bộ nghịch lưu và các thiết bị điện tử khác như PLC, máy tính, máy chủ, máy fax
- Thiết bị điều khiển trong chiếu sáng (đèn huỳnh quang, đèn HID), các thiết bị gia dụng như tủ lạnh, lò vi sóng, màn hình TV

Tải tuyến tính

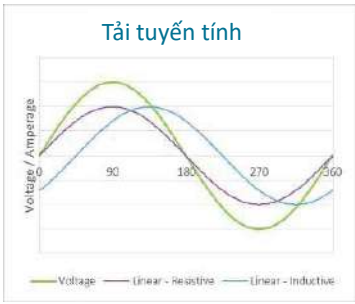
- Các tải thuần trở, cảm và dung đều là tải tuyến tính
- Điện áp tỷ lệ thuận với dòng điện
- Ví dụ: Đèn sợi đốt, tải nhiệt, động cơ



Điện trở
V cùng pha I

Tụ điện
V chậm pha I 90°

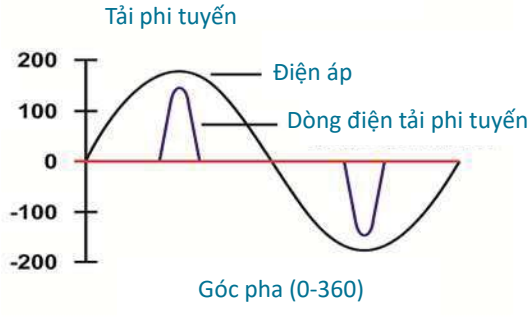
Cuộn cảm
V sớm pha I 90°



Tải phi tuyến

- Tải không duy trì trở kháng không đổi trong suốt chu kỳ hình sin
- Điện áp không tỉ lệ thuận với dòng điện

- Máy tính
- Máy photocopy
- Bộ điều chỉnh độ sáng
- VSD
- Lò hồ quang
- Máy hàn
- Bộ lưu điện
- Bộ sạc pin



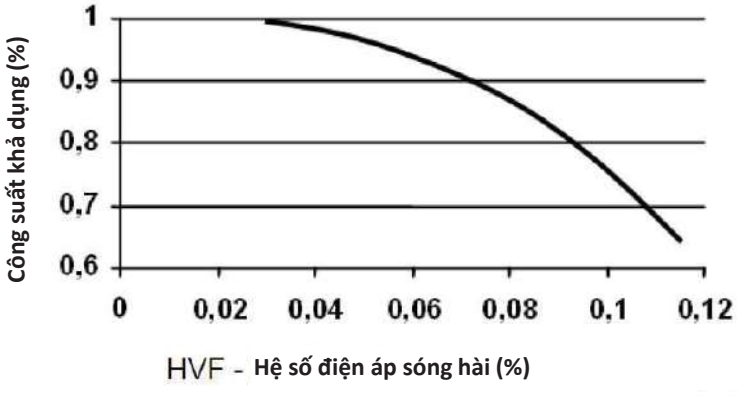
Tác động của sóng hài lên lưới điện

Sóng hài làm dòng điện tăng lên để thực hiện cùng một công việc. Điều này làm tăng chi phí năng lượng, yêu cầu dây dẫn đắt tiền hơn hoặc gây ra hiện tượng quá nhiệt và hư hỏng.

Sóng hài tần số cao gây ra tổn hao lõi bổ sung trong động cơ, dẫn đến tổn thất năng lượng, chi phí năng lượng bổ sung và làm quá nhiệt lõi động cơ.

Sóng hài tần số cao cũng có thể gây nhiễu cho tần số truyền thông và các thiết bị điện tử nhạy cảm, chẳng hạn như thiết bị hàng không (avionics) và thiết bị y tế.

Hệ số điện áp sóng hài



Giảm công suất do nhiệt dư thừa gây ra bởi sóng hài

$$HVF = \sqrt{\sum_{n=5}^{n=\infty} \frac{(V_n)^2}{n}}$$

Giảm thiểu sóng hài

- Thêm tải tuyến tính vào hệ thống
- Loại bỏ tải phi tuyến, nếu có thể
- Cấu hình lại mạng để hạn chế ảnh hưởng của sóng hài
- Lắp đặt máy biến áp với hệ thống truyền động 12 xung
- Lắp đặt bộ lọc sóng hài

Hệ số công suất

Từ góc độ hiệu quả năng lượng:

Hệ số công suất (pf)

là một tỷ số cho biết bao nhiêu phần công suất được cung cấp hoặc tạo ra có thể được sử dụng để thực hiện công việc hữu ích trong một hệ thống điện cụ thể.

Hệ số công suất *pf* ở tải một phần của động cơ cảm ứng

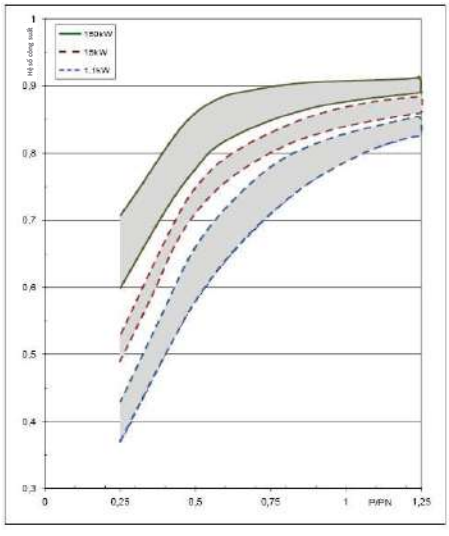
- Động cơ là xương sống của công nghiệp
- 70% toàn bộ phụ tải điện công nghiệp là động cơ
- 90% toàn bộ động cơ điện trong công nghiệp là động cơ cảm ứng
- Hệ số công suất ở chế độ tải một phần thường kém
- Hầu hết các động cơ trong công nghiệp hoạt động ở chế độ tải một phần

Biến thiên tải của động cơ	
Tải động cơ	PF điển hình
0%	17%
25%	55%
50%	73%
75%	80%
Đầy tải	84%
125%	86%

Quá cỡ động cơ và hệ số công suất

Duy trì hệ số công suất cao:

- Hệ số công suất thấp làm giảm hiệu suất của hệ thống phân phối điện cả bên trong và bên ngoài cơ sở của bạn.
- Hệ số công suất thấp xảy ra khi động cơ cảm ứng vận hành ở mức tải nhỏ hơn tải định mức.



Hệ số công suất điển hình so với tải động cơ
Nguồn: IEC 60034-31

Tại sao cần cải thiện hệ số công suất

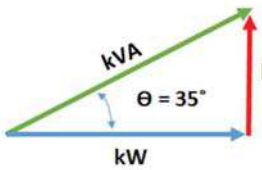
Cải thiện hệ số công suất kém hoặc thấp sẽ

- Giúp giảm nhu cầu cực đại và theo đó giảm tổng chi phí cung cấp điện
- Giảm khả năng phải trả tiền phạt do hệ số công suất tổng thể kém
- Có thể tăng dung lượng hệ thống
- Giảm tổn thất trong hệ thống
- Cải thiện mức điện áp tổng thể
- Giúp kéo dài tuổi thọ động cơ, nhờ vận hành mát hơn và hiệu quả hơn

Cải thiện hệ số công suất

- Hầu hết các thành phần phản kháng là cảm kháng
- Cải thiện hệ số công suất bằng cách bổ sung tụ điện vào hệ thống
- Việc này giúp giảm góc lệch pha

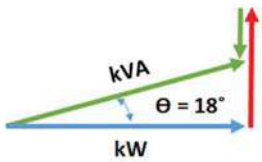
Hệ số công suất thấp



kVAR-cảm kháng

pf = cos(35°) = 0.82

Bổ sung tải dung kháng



kVAR-
cảm kháng/dung kháng

pf = cos(18°) = 0.95

Sóng hài và hệ số công suất (pf)

- Với tải tuyến tính, hệ số công suất chỉ liên quan đến sóng hình sin **50Hz.**
- Với tải phi tuyến, các dạng sóng của các thành phần sóng hài cũng cần được tính đến, vì mỗi sóng hài đều có hệ số công suất riêng của nó.
- Hệ số công suất tổng mới sẽ bằng **tổng hợp của sóng cơ bản** cộng với các hệ số công suất của các sóng hài.
- Hệ số công suất tại **50Hz** được gọi là **hệ số công suất dịch pha**
- Các hiệu chỉnh hệ số công suất do biến dạng sóng hài được gọi là **hệ số công suất biến dạng**
- Đối với tải phi tuyến, hệ số công suất tổng sẽ luôn **nhỏ hơn** hệ số công suất dịch pha.

Sóng hài trong tương lai

Sóng hài sẽ chỉ ngày càng gia tăng trong công nghiệp khi ngày càng nhiều doanh nghiệp sử dụng các thiết bị điện tử tiên tiến để điều khiển máy móc sản xuất.

Việc xây dựng một kế hoạch chiến lược về sóng hài phù hợp có thể mang lại những khoản tiết kiệm đáng kể trong tương lai và giảm thiểu tổn thất trong sản xuất.

Chi phí do chất lượng điện năng

Chi phí trực tiếp

- Một số đơn vị cung cấp điện áp dụng phí phạt do công suất phản kháng (kVAr) quá mức
- Công suất phản kháng là phần công suất không được sử dụng, làm tăng công suất đỉnh và chi phí
- Hư hỏng thiết bị
- Tổn thất sản xuất và nguyên vật liệu
- Chi phí nhân công trong thời gian ngừng sản xuất
- Chi phí khởi động lại hệ thống

Chi phí gián tiếp

- Không thể hoàn thành đúng tiến độ
- Mất các đơn hàng trong tương lai

Giảm thiểu sự cố chất lượng điện năng

Nguồn: Schneider Electric

Loại sự cố	Nguyên nhân	Hậu quả	Ví dụ giải pháp khắc phục (thiết bị chuyên dụng và cải tạo)
Biến đổi và dao động điện áp	Biến động tải lớn (máy hàn, lò hồ quang, v.v.)	Nhấp nháy ánh sáng đèn	Bộ bù công suất phản kháng cơ điện, bộ bù phản kháng tức thời, bộ điều hòa điện tử nối tiếp, bộ đổi nấc biến áp
Sụt áp (Voltage dips)	Ngắn mạch, đóng cắt tải lớn (khởi động động cơ, v.v.)	Gián đoạn hoặc ngừng quá trình: mất dữ liệu, tiếp điểm bị mở, khóa cơ cấu truyền động, động cơ bị chậm hoặc dừng, đèn phóng điện tắt	UPS, bộ bù phản kháng tức thời, bộ điều chỉnh điện áp điện tử động, bộ khởi động mềm, bộ điều hòa điện tử nối tiếp. Tăng công suất ngắn mạch (Scc). Thay đổi phân cấp của thiết bị bảo vệ
Gián đoạn (Interruptions)	Ngắn mạch, quá tải, bảo trì, cắt điện ngoài ý muốn	Gián đoạn cung cấp điện	UPS, chuyển nguồn cơ khí, chuyển mạch tĩnh, bộ đặt lại bằng không, máy cắt, quản lý điều khiển từ xa
Sóng hài (Harmonics)	Phụ tải phi tuyến (biến tần, lò hồ quang, máy hàn, đèn phóng điện, đèn huỳnh quang, v.v.)	Quá tải (dây trung tính, nguồn…), ngắt ngoài ý muốn, lão hóa nhanh, giảm hiệu suất năng lượng, giảm năng suất	Cuộn kháng lọc sóng hài, bộ lọc thụ động hoặc chủ động, bộ lọc lai, cuộn kháng nối tiếp. Tăng công suất ngắn mạch (Scc). Hạn chế tải gây nhiễu. Giảm định mức thiết bị
Liên sóng hài (Inter-harmonics)	Tải dao động (lò hồ quang, máy hàn, v.v.), biến tần tần số	Gián đoạn tín hiệu đo lường, nhấp nháy	Cuộn kháng nối tiếp
Quá điện áp thoáng qua (Transient overvoltages)	Đóng cắt thiết bị điện, tụ điện, sét	Khóa truyền động, ngắt ngoài ý muốn, phá hỏng tủ điện, hỏa hoạn, tổn thất	Chống sét van, thiết bị cắt sét, đóng cắt điều khiển, điện trở chèn trước, cuộn kháng nối tiếp, bộ bù tĩnh tự động
Mất cân bằng điện áp (Voltage unbalance)	Tải mất cân bằng (tải một pha lớn, v.v.)	Mô-men ngược (rung động động cơ), quá nhiệt động cơ không đồng bộ	Cân bằng tải. Bộ bù điện tử song song, bộ điều chỉnh điện áp điện tử động, tăng công suất ngắn mạch (Scc)

Đánh giá & Thảo luận

- Sóng hài trong thuật ngữ chất lượng điện là gì?
- Sự mất cân bằng điện áp ảnh hưởng như thế nào tới hiệu suất động cơ?

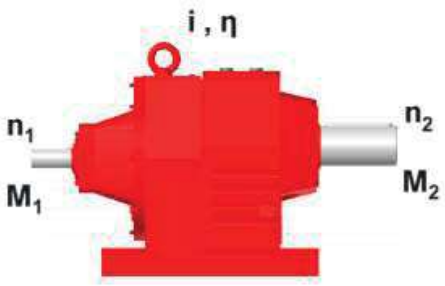
Phần 13

Truyền động cơ học: Hộp số & dây đai

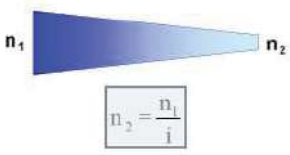
Truyền động cơ khí

- Dùng để truyền mô-men xoắn cần thiết đến một điểm sử dụng khác.
- Cần điều chỉnh yêu cầu tải cơ khí phù hợp với tải: chúng chuyển đổi công suất đầu vào do động cơ cung cấp thành đầu ra có tốc độ vòng quay thấp hơn và mô-men xoắn cao hơn, hoặc ngược lại.
- Thiết bị truyền động bao gồm trục, dây đai, xích và bánh răng cần được lắp đặt và bảo dưỡng đúng cách.
- Thiết bị truyền động hiệu suất cao như bánh răng nghiêng và dây đai đồng bộ nên được sử dụng khi thích hợp.

Truyền động cơ khí – Hộp số



Giảm tốc độ



$$n_2 = \frac{n_1}{i}$$

Tăng mômen xoắn

$$M_2 = M_1 \times i \times \eta$$

Truyền động cơ khí – Hộp số

- Được sử dụng cho các tải có tốc độ thấp, mômen xoắn cao

Một số loại:

  - Nghiêng
  - Thẳng
  - Côn
  - Trục vít

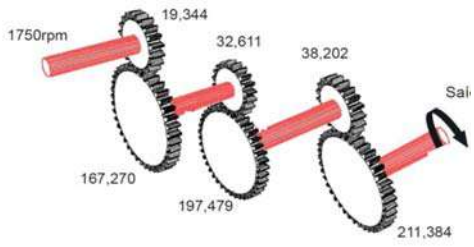
- Tổn thất chủ yếu liên quan đến ma sát của bánh răng và ổ trục, tổn thất do cản gió và độ nhớt của dầu bôi trơn.

Truyền động cơ khí – Bánh răng trục vít

- Hiệu suất điển hình của bánh răng trục vít nằm trong khoảng 50% – 85% (phụ thuộc vào tỉ số truyền, tốc độ, chất bôi trơn và nhiệt độ).

Truyền động cơ khí – Bánh răng trụ răng nghiêng

- Bánh răng trụ răng nghiêng và bánh răng côn có hiệu suất điển hình từ 98–98,5% cho mỗi cấp (tổn thất 1,5–2% cho mỗi cấp).



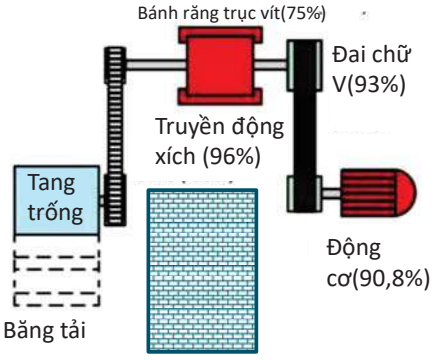
Ví dụ minh họa

Hiệu suất hệ thống

$$\eta = \eta_{\text{động cơ}} * \eta_{\text{đai}} * \eta_{\text{trục vít}} * \eta_{\text{xích}}$$

$$= 0{,}908 * 0{,}93 * 0{,}75 * 0{,}96$$

$$= 60{,}8\ \%$$



Truyền tải công suất

Công suất đầu vào	= 16,5 kW (Đo đạc)
Công suất cơ đưa tới băng tải	= 16,5 * 0,608 = 9,1 kW
Tổn thất công suất trên hệ truyền động	= 7,4 kW

Truyền động cơ khí – Đai

- 1/3 các ứng dụng truyền động sử dụng đai.
- Đai mang lại tính linh hoạt cao trong việc bố trí động cơ so với tải, đồng thời dễ dàng điều chỉnh tốc độ.

Một số loại chính:

- Đai chữ V (có hoặc không có răng)
- Đai phẳng
- Đai đồng bộ

- Đai chữ V được sử dụng rộng rãi nhất, với hiệu suất 90-96% (phụ thuộc vào độ đàn hồi, lực căng, độ trượt và sự đồng trục).

- Nếu lực căng quá lớn → tăng tốc độ mài mòn của đai và ổ trục
- Nếu lực căng quá nhỏ → độ trượt và tổn hao tăng lên

- Loại đai có hiệu suất cao nhất là đai dẹt và đai đồng bộ. Trong đó, đai đồng bộ đạt hiệu suất khoảng 98–99%.

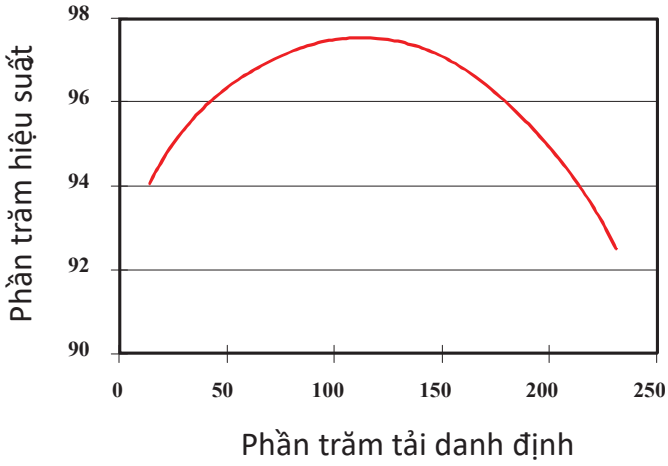
Truyền động cơ khí – Đai

- Vì đai chữ V hoạt động theo nguyên lý ma sát, kết hợp với lợi thế cơ học của nguyên lý nêm là yếu tố quan trọng nhất để đảm bảo vận hành bền bỉ và ổn định.

Căn chỉnh puly là cực kỳ quan trọng

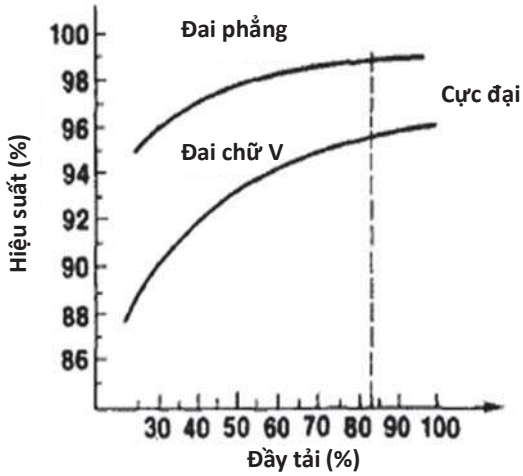
- Nếu lực căng quá nhỏ → đai bị trượt, gây mài mòn nhanh ở đai và puly, đồng thời làm giảm năng suất.
- Nếu lực căng quá lớn → tạo ứng suất quá mức lên đai, ổ trục, trục → làm giảm hiệu suất.

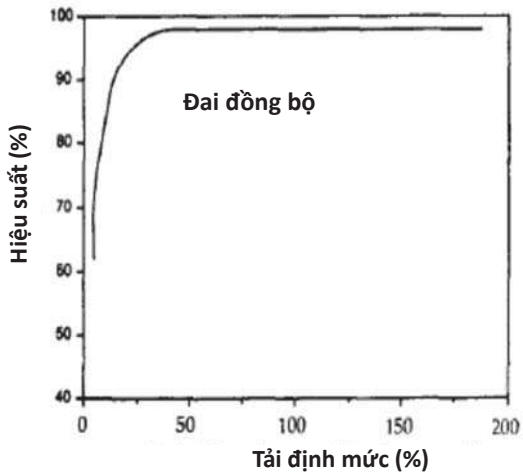
Truyền động cơ khí - Đai



Đường cong hiệu suất cho đai chữ V có răng điển hình

Truyền động cơ khí - Đai





Truyền động cơ khí - Đai

So sánh các đặc tính chính của truyền động đai

	Hiệu suất điển hình (%)	Phù hợp với tải biến thiên đột ngột	Yêu cầu bảo trì định kỳ	Cần thay đổi puly	Đặc điểm nổi bật
Đai chữ V	90-98	Có	Có	Không	Chi phí ban đầu thấp
Đai chữ V có răng	95-98	Có	Có	Không	Dễ dàng lắp thêm Giảm trượt
Đai đồng bộ	97-99	Không	Không	Có với chi phí cao hơn	Ứng dụng ở tốc độ trung bình thấp. Không trượt. Có tiếng ồn

Ví dụ minh họa

Một động cơ quạt cấp gió 75 kW vận hành liên tục (hiệu suất 93%) làm việc ở tải trung bình 75% và tiêu thụ 530 000 kWh mỗi năm.

Mức tiết kiệm năng lượng và chi phí hằng năm là bao nhiêu nếu đai chữ V hiệu suất 93% (η_1) được thay bằng đai đồng bộ hiệu suất 98% (η_2)?
(Giá điện 0,37USD/kWh)**

Tiết kiệm năng lượng
=Năng lượng tiêu thụ năm x $(1 - \eta_1/\eta_2)$
= 530,000 kWh/năm x (1 – 93/98)
= 27,000 kWh/năm

Tiết kiệm chi phí hàng năm = 27,000 kWh x LKR 37/kWh
= 9 990 USD/ năm

Khớp nối trực tiếp

- Luôn là lựa chọn tốt nhất khi có thể, nhờ đơn giản, ít bảo trì và hiệu suất cao.
- Các loại động cơ mới và đặc biệt là các bộ truyền động mới khiến lựa chọn này ngày càng khả thi.

- Nếu căn chỉnh đúng, hiệu suất sẽ rất cao (99%).
- Nếu căn chỉnh không đúng, hiệu suất động cơ và tuổi thọ ổ trục sẽ bị giảm.
- Chỉ có thể sử dụng khi tốc độ của động cơ gần với tốc độ yêu cầu của tải.

Đánh giá & Thảo luận

- Các chức năng chính của truyền động là gì?
- Các loại truyền động cơ bản là gì?

Phần 14

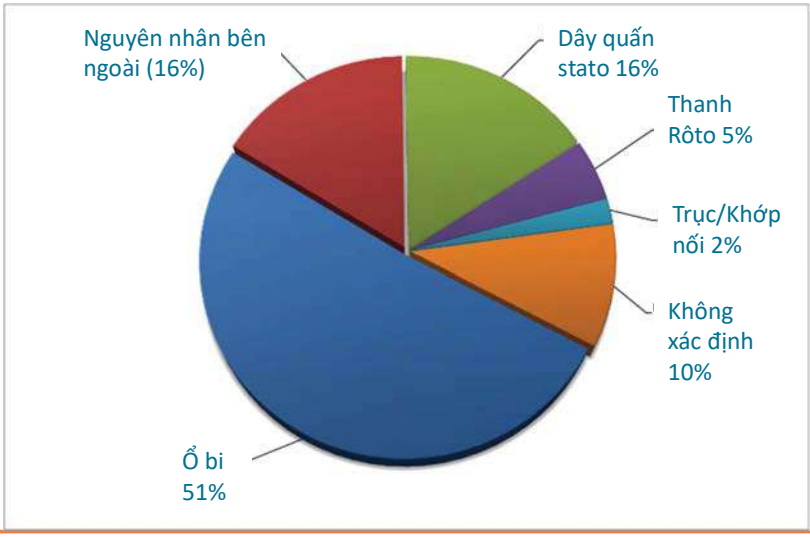
Bảo trì & Sửa chữa

Tại sao động cơ bị hỏng?

Các vấn đề phát sinh từ:

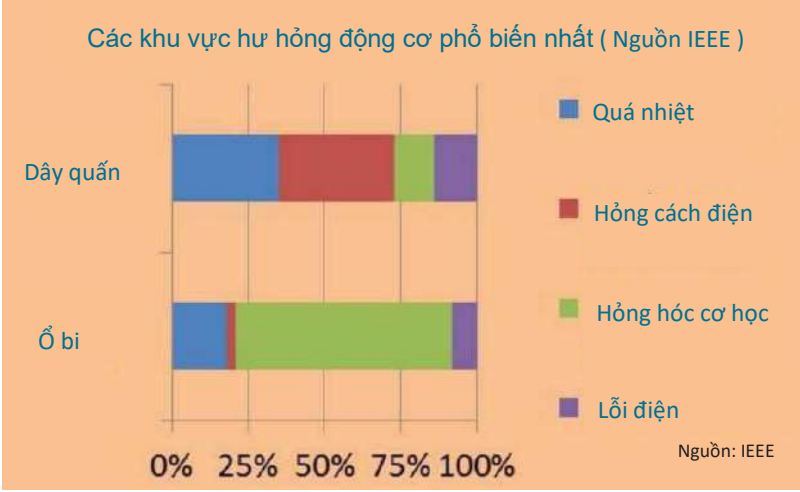
- Thông số kỹ thuật không phù hợp
- Lắp đặt sai
- Vận hành trong điều kiện môi trường bất thường
- Chất lượng điện năng kém
- Bảo trì kém
- Hư hỏng cơ khí từ bên ngoài

Hư hỏng theo thành phần động cơ



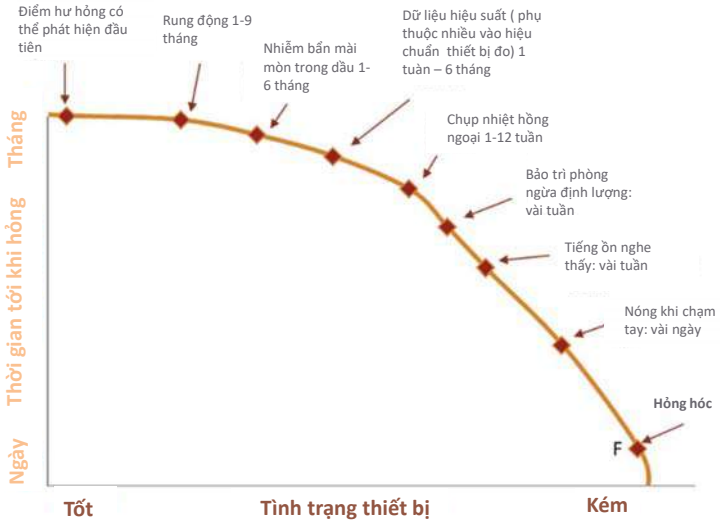
Nguồn: EASA

Các dạng hư hỏng động cơ phổ biến



Nguồn: IEEE

Khả năng hư hỏng động cơ



Nguồn: EASA

Phòng ngừa hỏng hóc

- Ngăn ngừa động cơ hỏng hóc thường dễ dàng hơn so với sửa chữa hoặc thay thế nó.
- Các sự cố thường dẫn đến **thiệt hại sản xuất** - mức độ thiệt hại này thường lớn hơn nhiều so với giá trị bản thân động cơ.

Vậy bắt đầu phòng ngừa từ đâu?

- Quy trình vận hành
- Điều kiện vận hành
- Chất lượng điện năng
- Bảo trì và kiểm tra

Mối liên hệ giữa năng lượng và bảo trì

- Các vấn đề bảo trì thể hiện tổn thất năng lượng – đồng thời là dấu hiệu của cơ hội tiết kiệm.
- Kiểm tra bảo trì định kỳ cũng cung cấp thông tin về hiệu suất năng lượng.
- Có thể tận dụng cơ sở dữ liệu bảo trì để lưu trữ dữ liệu tiêu thụ năng lượng?
- Dự án bảo trì luôn được ưu tiên hơn dự án tiết kiệm năng lượng!

Những biện pháp bảo trì giúp tiết kiệm năng lượng

Căn chỉnh trục	Bôi trơn	Loại bỏ bụi bẩn
Thông gió	Cân bằng điện áp	Lọc sóng hài

Điều kiện ảnh hưởng đến hiệu suất/độ tin cậy của động cơ

Khởi động và dừng thường xuyên

- Có thể gây hư hỏng động cơ sớm

Điều kiện môi trường

- Tản nhiệt kém do nhiệt độ môi trường cao
- Lỗ thông gió của động cơ bị tắc một phần
- Ứng dụng trong môi trường bẩn/ẩm ướt

Mất cân bằng điện áp hoặc điện áp thấp/quá áp

- Gây phát nhiệt bổ sung
- Tăng tổn hao nội bộ của động cơ
- Động cơ phải giảm định mức khi mức mất cân bằng điện áp cao

Vận hành theo hệ số tải

- NEMA khuyến nghị nên giảm định mức động cơ khi vận hành theo hệ số tải

Danh Sách Kiểm Tra Bảo Trì Tiết Kiệm Năng Lượng

- Đảm bảo động cơ, VSDs và thiết bị liên quan sạch sẽ, không bụi bẩn & vật cản
- Đảm bảo thông gió và làm mát đầy đủ
- Kiểm tra độ chặt và đồng trục của động cơ & thiết bị
- Kiểm tra dây đai truyền động:
- Độ mòn
- Vị trí chính xác trên puli
- Độ đồng trục của dây đai & puli
- Độ căng phù hợp
- Kiểm tra bôi trơn - đủ dầu, không rò rỉ
- Nghe âm thanh - phát hiện tiếng bất thường (nhân viên vận hành sẽ nhận biết khác biệt so với bình thường)
- Kiểm tra nguồn điện - điện áp trong phạm vi cho phép, các pha cân bằng

Sửa chữa hay thay thế?

Quyết định phụ thuộc vào	• **Khả năng sửa chữa** • **Thời gian ngừng máy** • **Tài chính** • **Tuổi thọ dự kiến**
Chúng ta có xem xét	• **Hiệu suất năng lượng** • **Chi phí vòng đời** • **Tổng chi phí sở hữu**

Tại sao chọn sửa động cơ

- Sửa chữa một động cơ cũ thường là một lựa chọn có chi phí ban đầu thấp hơn, và do đó trở thành mặc định. Theo "quy tắc ngón tay cái", chi phí sửa chữa có thể vào khoảng 2/3 chi phí mua động cơ mới, nhưng con số này thay đổi tùy trường hợp.
- Kỹ sư bảo trì thường không được hưởng lợi trực tiếp từ khoản tiết kiệm năng lượng lâu dài khi mua một động cơ mới hiệu suất cao hơn, nên họ sẽ ưu tiên giải pháp có chi phí ban đầu thấp hơn.
- Các đơn vị sửa chữa thường thích sửa hơn là thay mới, vì lợi nhuận cao hơn. (Tuy nhiên, nếu họ liên tục thúc đẩy việc sửa chữa không kinh tế, họ sẽ sớm mất khách hàng).

Khi không có bất kỳ hệ thống chứng nhận nào, bạn phải tự đánh giá

Những điều cần xem xét:

Kho phụ tùng

- Họ có tồn kho phụ tùng thay thế đầy đủ không?
- Họ có dải kích cỡ dây quấn phù hợp không?

Tháo dây quấn

- Họ có lò nung trong tình trạng tốt với hệ thống điều khiển đảm bảo không

Kiểm soát chất lượng

- Có bằng chứng nào về hệ thống kiểm soát chất lượng?

Kiểm tra động cơ

- Họ tiến hành những thử nghiệm nào đối với động cơ sau khi sửa chữa

Nhân sự

- Nhân viên của họ có kinh nghiệm gì

Lõi stato - Nhiệt độ đốt cháy

Đây là một phần quan trọng trong quá trình sửa chữa| Nhiệt độ đốt cháy cần được kiểm soát chặt chẽ

< 360°C → Lõi có thể không sạch, cần làm sạch bổ sung và có nguy cơ hư hỏng cơ học

360 tới 370°C → Nhiệt độ lý tưởng

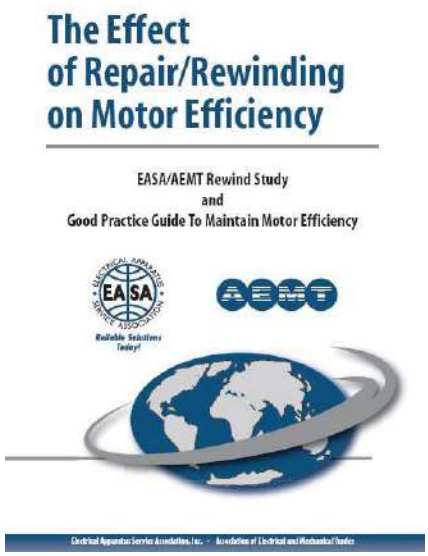
> 400°C → Có thể làm hỏng lớp cách điện vô cơ giữa các lá thép

Nguồn: Reliance Electric

Quy Trình Sửa Chữa Chất Lượng

- Tránh làm hỏng lõi stato khi tháo cuộn dây cũ.
- Quấn lại dây đúng cỡ dây, số vòng dây và lớp cách điện
- Sử dụng quạt làm mát phù hợp.
- Lắp đúng loại vòng bi và bôi trơn đúng cách.

Tại Anh, hơn 80% các công việc sửa chữa tuân thủ quy trình này (các động cơ khác thực sự không thể đáp ứng tiêu chuẩn sửa chữa kỹ thuật tối thiểu).



Đánh giá & Thảo luận

- Loại hỏng hóc động cơ phổ biến nhất là gì?
- Tại sao nhiệt độ nung của lò sấy sửa chữa động cơ lại quan trọng?
- Hãy nêu một số kỹ thuật có thể dùng để dự đoán hỏng hóc động cơ.

Phần 15

Tiến hành đánh giá MSO

Tại sao cần đánh giá năng lượng hệ thống động cơ

Tại sao chúng ta cần nó?

- Năng lượng tốn tiền
- Thiết bị tốn tiền
- Giảm chi phí vận hành sẽ cải thiện lợi nhuận cho cùng một khối lượng sản phẩm
- Cơ hội tiết kiệm luôn tồn tại

Lợi ích là gì?

- Tiết kiệm tiền
- Thay đổi văn hóa vận hành Ban lãnh đạo sẵn sàng đầu tư vào dự án tiết kiệm năng lượng, nhân viên hình thành thói quen giảm lãng phí).

Tại sao cần đánh giá năng lượng hệ thống động cơ?

70 % → tải điện công nghiệp được tiêu thụ bởi các hệ thống động cơ

Cơ hội giảm tiêu thụ năng lượng bao gồm:

- Công nghệ điều khiển cũ
- Điều kiện vận hành thay đổi
- Nhu cầu sản xuất thay đổi

Mặc dù hiệu suất hệ thống có thể khoảng 60% hoặc cao hơn,
→ nhưng thường giảm xuống dưới 50% và thậm chí thấp tới 15%–20%

Lợi ích của việc tối ưu hóa hệ thống động cơ

- Tiết kiệm năng lượng / giảm chi phí
- Giảm công suất cực đại
- Cải thiện độ tin cậy vận hành và khả năng điều khiển
- Khả năng tăng sản lượng mà không cần bổ sung nguồn năng lượng (vốn có thể bị hạn chế)
- Giảm phát thải CO_2
- Tránh chi phí đầu tư mới bằng cách tận dụng tối đa tài sản thiết bị hiện có
- Được công nhận là một "doanh nghiệp xanh"

Lợi ích của quản lý hệ thống động cơ

Tăng năng suất	Cải thiện độ tin cậy	Giảm chi phí
Kiểm soát tốt hơn đối với yêu cầu quy trình	Thời gian ngừng máy có kế hoạch thay vì bảo trì khi hỏng hóc	Vận hành hiệu quả hơn
Linh hoạt trong việc đáp ứng yêu cầu sản xuất	Thời gian vận hành dài hơn giữa các lần bảo trì	Giảm chi phí bảo trì
Giảm phế phẩm và gia công lại	Tuổi thọ thiết bị dài hơn	Giảm chi phí đơn vị sản phẩm

Quản lý hệ thống động cơ hiệu quả phát triển sự cộng hưởng giữa các chương trình bảo trì phòng ngừa và dự đoán, vận hành thiết bị và năng suất quy trình để thiết lập chính sách sửa chữa/thay thế dựa trên cam kết lựa chọn và vận hành thiết bị tiết kiệm năng lượng.

Lợi ích của HQNL đối với các nền kinh tế mới nổi

Việc nâng cao hiệu quả năng lượng mang lại nhiều lợi ích đặc biệt quan trọng cho các nền kinh tế mới nổi và các quốc gia đang phát triển, khi họ tìm cách khai thác nguồn tài nguyên của mình để giảm nghèo đói và hỗ trợ tăng trưởng bền vững:

Tiếp cận : Hiệu quả năng lượng có thể giúp các quốc gia mở rộng khả năng tiếp cận điện năng, cho phép cung cấp điện cho nhiều người hơn thông qua hạ tầng năng lượng hiện có.

Phát triển / Tăng trưởng :Hiệu quả năng lượng có nhiều tác động tích cực hỗ trợ tăng trưởng kinh tế, ví dụ như cải thiện năng suất công nghiệp và giảm chi phí nhập khẩu nhiên liệu.

Khả năng chi trả / Giảm nghèo : Hiệu quả năng lượng có thể nâng cao khả năng chi trả dịch vụ năng lượng cho các hộ gia đình nghèo bằng cách giảm chi phí trên mỗi đơn vị cho chiếu sáng, sưởi, làm lạnh và các dịch vụ khác.

Ô nhiễm địa phương : Hiệu quả năng lượng (cả phía cung cấp và phía sử dụng) có thể giúp giảm nhu cầu phát điện, từ đó cắt giảm phát thải liên quan – đồng thời vẫn hỗ trợ tăng trưởng kinh tế.

Khả năng chống chịu biến đổi khí hậu (Climate change resilience): Bằng cách giảm nhu cầu về hạ tầng năng lượng, hiệu quả năng lượng cũng giảm số lượng tài sản năng lượng phải đối mặt với các hiện tượng thời tiết cực đoan.

Nguồn-IEA, 2014

Rào cản về Thông tin, Hành vi, Tổ chức và Thị trường đối với Tối ưu hóa hệ thống động cơ (MSO) và hiệu quả năng lượng

K • Các doanh nghiệp có kiến thức hạn chế và ít được tiếp cận thông tin về các công nghệ tiết kiệm năng lượng mới cũng như hiện có.

K • Doanh nghiệp có thể nhận thức rủi ro kỹ thuật và vận hành khi triển khai các dự án hiệu quả năng lượng, vì chưa quen thuộc với các công nghệ và thực tiễn giảm năng lượng so với những dự án cốt lõi trong hoạt động kinh doanh.

O • Ranh giới chức năng và chuyên môn trong nội bộ tổ chức giới hạn sự hợp tác cần thiết để xác định và hỗ trợ các biện pháp hiệu quả năng lượng.

P • **Giá năng lượng và thuế được trợ cấp trong một số quốc gia đối với khu vực công nghiệp; do đó, doanh nghiệp có thể không phải trả toàn bộ chi phí thực tế của việc sử dụng năng lượng và ít có động lực hơn trong việc giảm tiêu thụ.**

K Kiến thức **O** Tổ chức **P** Chính sách

Rào cản tài chính đối với Tối ưu hóa hệ thống động cơ (MSO) và hiệu quả năng lượng

K/ F • Các khoản đầu tư vào dự án hiệu quả năng lượng thường không đáp ứng tiêu chí tài chính trong doanh nghiệp (đặc biệt tại các quốc gia có lãi suất cao).

P/ F • Doanh nghiệp thiếu khả năng tiếp cận vốn

K/ F • Các khoản đầu tư bị coi là rủi ro quá cao do thiếu quen thuộc với dự án tiết kiệm năng lượng so với các dự án cốt lõi trong hoạt động kinh doanh, và do khó dự đoán giá năng lượng trong tương lai.

O/ F • Doanh nghiệp thường muốn sử dụng vốn và nguồn lực để phát triển và mở rộng sản xuất kinh doanh. Khi muốn cắt giảm chi phí, họ thường muốn làm mà không phải chi quá nhiều vốn đầu tư. Các công ty thường chỉ tài trợ cho những dự án có thời gian hoàn vốn trong vòng 18 tháng đến 2 năm hoặc ngắn hơn, trừ khi dự án đó còn mang lại kết quả về năng suất hoặc tăng trưởng.

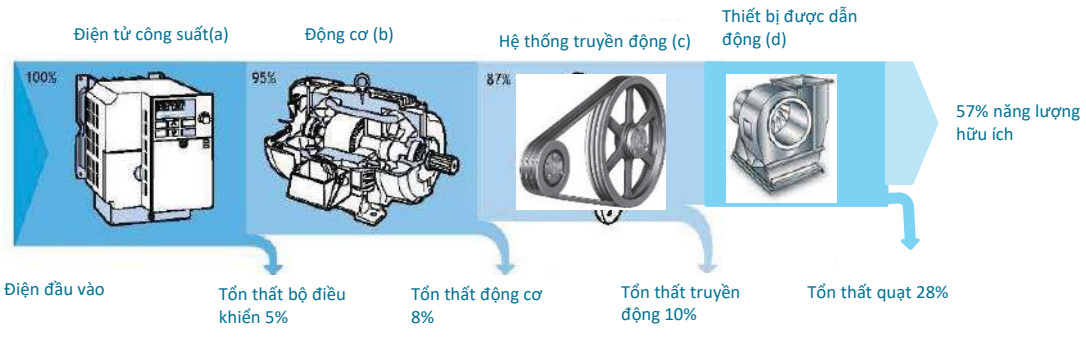
K/F Kiến thức / Tài chính **O/ F** Tổ chức / Tài chính **O/ F** Chính sách / Tài chính

Ôn lại hôm qua: Chúng ta bắt đầu từ đâu?

1. Lập danh sách tất cả các hệ thống động cơ
2. Xác định thứ tự ưu tiên danh sách 10-20 hệ thống
3. Xem xét từng hệ thống động cơ
   a. Bắt đầu từ khâu sử dụng cuối cùng
   b. Đặt ra những câu hỏi lớn

Ôn lại hôm qua: Bắt đầu từ khâu sử dụng cuối cùng...

Bắt đầu từ quy trình nơi năng lượng cuối cùng được sử dụng và làm việc ngược lại về phía nguồn.



Tổn thất năng lượng xảy ra ở mỗi giai đoạn. Hãy xác định các tổn thất và tìm ra cơ hội cải thiện tốt nhất.

Ôn lại hôm qua: Đặt những Câu hỏi Lớn

1. Hệ thống đang cố gắng đạt được điều gì?
2. Các thiết lập là gì – những thiết lập này được xác định như thế nào?
3. Đây có phải cách tốt nhất để thực hiện không?
4. Chúng ta có thực sự cần nó mọi lúc không?

Ôn lại hôm qua: Tổng quan Đánh giá Hệ thống Động cơ

- Xác định loại động cơ và ứng dụng tải
- Xác định yêu cầu hệ thống
- Thiết lập thời gian vận hành và chi phí
- Tính toán chi phí vận hành hàng năm
- Kiểm tra phương thức vận hành và quản lý
- Vẽ sơ đồ hệ thống thể hiện tất cả thành phần
- Xác định phương pháp điều khiển động cơ
- Xác định các điểm có thể gây kém hiệu quả
- Tính toán các tổn thất nếu có thể
- Ước tính khoản tiết kiệm tiềm năng

Những hành động có thể thực hiện?

Tùy chọn tắt thiết bị	Nâng cấp động cơ
Tối ưu hóa hệ thống	Cơ hội áp dụng VSD

Xác định các hệ thống cần được điều tra sâu hơn – Bơm, quạt, khí nén

Cơ hội: Tắt thiết bị

Khi nào
Giải lao
Ngoài giờ làm việc
Xem lại thời gian bật/tắt thiết bị
Công tắc hẹn giờ / điều khiển BMS
Thay đổi dụng cụ
Giữa các lô sản xuất

Lưu ý:

Giới hạn tần suất bật/tắt – động cơ chỉ có thể được bật và tắt một số lần nhất định trong mỗi giờ.

Cách tắt đúng cách

Thủ công

- Đào tạo

Tự động

- Bộ hẹn giờ
- Bộ điều nhiệt
- Liên động an toàn
- Cảm biến tải
- Điều khiển quá trình

Cơ hội: Nâng cấp động cơ

Phát triển Chính sách Quản lý Động cơ để tạo ra một cách tiếp cận có hệ thống cho việc nâng cấp động cơ.

Cần chú ý đến

- Động cơ lớn chạy liên tục.
- Động cơ thường xuyên hỏng hoặc có vòng đời ngắn.
- Động cơ chạy với tải thấp hơn nhiều so với tải định mức (< 50%).

Cơ hội: Truyền động

Cần kiểm tra

- Dây đai truyền động bị chùng.
- Vấn đề lệch trục động cơ.
- Hỏng ổ trục động cơ.
- Rò rỉ dầu dưới hộp số hoặc bộ truyền động.

Cần lắng nghe

- Hộp số phát tiếng ồn lớn.
- Puly phát tiếng rít.

Cơ hội: VSD

Cần kiểm tra

- Các bơm và quạt dẫn động các quá trình và tải có nhu cầu biến đổi
- Động cơ chạy thấp hơn nhiều so với tải đầy
- Hệ thống vòng kín với cột áp tĩnh thấp
- Hệ thống hiện có với thiết bị song song (ví dụ: nhiều bơm trong hệ thống làm mát)

Cần xem xét

- Xem xét lại các thông số vận hành hiện tại của hệ thống
- Lắp đặt động cơ mới để cho phép điều khiển VSD

Ví dụ minh họa: Cơ hội tiết kiệm VSD

Hệ thống bơm hiện tại:

- Động cơ chạy ở 2900 vòng/phút, công suất điện vào: 22 kW, áp suất: 4 bar
- Có cơ hội giảm lưu lượng 15%
- Tốc độ mới (vòng/phút): 2900 x 0,85 = 2465 vòng/phút
- Áp suất mới (bar): $4 \times (0,85)^2 = 4 \times 0,72 = 2,9$ Bar
- Công suất mới (kW): $22 \times (0,85)^3 = 22 \times 0,614 = 13,5$ kW

- Giảm trừ tiết kiệm 5% để tính đến tổn thất bổ sung do VSD
- Tiềm năng tiết kiệm = ((22 kW – 13,5 kW) × 95%) = 8.075 kW
- ***Kết luận:*** Giảm 15% lưu lượng (tốc độ) = giảm 37% công suất

Thực hiện chuyến thăm hiện trường

Các bước kiểm tra trước đánh giá:

- Kiểm tra tất cả thông tin trước chuyến thăm;
- Kiểm tra mọi người vẫn sẵn sàng
- Kiểm tra thái độ – mọi người có thực sự muốn bạn đến không, ai sẽ dẫn bạn đi tham quan?
- Kiểm tra động cơ – vấn đề của họ là gì, điều gì sẽ khiến họ đầu tư?
- Yêu cầu về an toàn (PPE và hướng dẫn an toàn)
- Chìa khóa và quyền tiếp cận vào các khu vực

Thực hiện chuyến thăm hiện trường

Lắng nghe

- **Người vận hành nhà máy**
- **Nhân viên bảo trì**
- **Nhân viên kiểm soát chất lượng**
- **Nhân viên vệ sinh**
- **Bộ phận mua sắm**
- **Ban quản lý**

Nơi cần xem xét ĐẦU TIÊN

- Thiết bị lớn với tần suất sử dụng cao và thường xuyên
- Thiết bị thường xuyên hỏng và gây ra thời gian ngừng máy kéo dài
- Các hệ thống có nhiệm vụ hoặc đầu ra thay đổi
- Thiết bị phụ trợ không mang tính then chốt đối với quá trình sản xuất
- Thiết bị và hệ thống gặp sự cố với tỷ lệ hỏng hóc cao

Nơi KHÔNG nên tìm kiếm

Mỗi nhà máy đều khác nhau, nhưng bạn có thể sẽ thấy rằng đây không phải là những khu vực mang lại nhiều tiềm năng tiết kiệm:

Thiết bị quy trình	(Giá trị thông lượng quá cao và nhà máy đã được tinh chỉnh tối ưu cho quy trình)
Các quy trình quan trọng	(Rủi ro xảy ra sự cố bất ngờ là không thể chấp nhận)
Thiết bị nhỏ	(Mức tiêu thụ năng lượng quá nhỏ để biện minh cho việc điều tra hoặc triển khai chi tiết)
Thiết bị dự kiến thay thế	(Thời gian hoàn vốn tài chính không hấp dẫn)

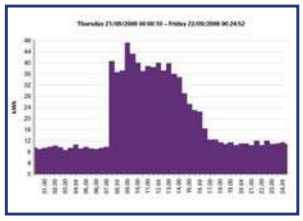
Dữ liệu hiện có

- Dữ liệu nhà máy - cần tính đến các thay đổi chưa được ghi chép, điều kiện vận hành thực tế
- Thiết bị đo - chúng có đáng tin không?
- Mức sử dụng năng lượng - chính xác đang đo cái gì?
- Lịch sử bảo trì

Có thể tốn nhiều thời gian, nhưng đôi khi chứa đựng thông tin quý giá. Việc cố gắng trả lời những câu hỏi trên có thể mang lại nhiều thông tin hữu ích!

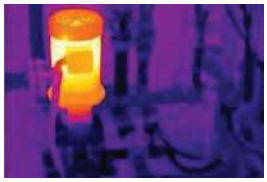
Phân tích dữ liệu

Chỉ số đồng hồ + Nhân tố ảnh hưởng ⟩ Phân tích



Đo lường

- Bộ ghi dữ liệu điện
- Camera hồng ngoại
- Ampe kìm
- Máy đo độ rung



Mức độ chi tiết của khuyến nghị nên đến đâu?

- Mục tiêu chính của bạn là xác định và đưa ra một phác thảo tài chính cho các cơ hội tiết kiệm năng lượng.
- Phân biệt những công việc có thể thiết kế và triển khai nội bộ, và những công việc cần đến hỗ trợ từ bên ngoài.
- Đánh giá Hệ thống Động cơ tạo tiền đề cho một chương trình thiết kế kỹ thuật và đầu tư chi tiết hơn.

Ước tính tải động cơ

Ước tính tải xấp xỉ dựa trên tốc độ và điện áp của động cơ

Dữ liệu trên nhãn

Công suất định mức	= 30 kW
Dòng điện định mức	= 55 A
Điện áp định mức	= 400 V
Hiệu suất định mức	= 92%
Tốc độ định mức	= 1440 vòng/phút

Dữ liệu đo được

Tốc độ đo được	= 1460 vòng/phút
Dòng điện tải vào	= 33 A
Điện áp vận hành	= 415 V
Công suất đầu vào	20 kW

Ước tính tải động cơ

Dựa trên phép đo tốc độ

Tốc độ đồng bộ

= 60 x 50/2

= 1500 vòng/phút

$$\text{Tải (\%)} = \frac{S(\text{độ trượt})}{(S_{\text{đồng bộ}} - S_{\text{nhãn}}) \times \left(\frac{V_{\text{đo được}}}{V_n}\right)^2} \times 100$$

$$\text{Tải (\%)} = \frac{40}{(1500-1440) \times \left(\frac{415}{400}\right)^2} \times 100 = 61{,}9\%$$

Độ trượt = Tốc độ đồng bộ – Tốc độ đo được
= 1500 – 1460
= 40 vòng/phút

Lưu ý: Phương pháp này có sai số lớn hơn đối với các động cơ công suất lớn vì độ trượt nhỏ.

Ước tính tải động cơ

Dựa trên phép đo hiện tại:

$$\text{Tải (\%)} = \frac{V_{\text{đo được}} \times I_{\text{đo được}}}{V_{\text{định mức}} \times I_{\text{định mức}}}$$

$$\text{Tải (\%)} = \frac{415 \times 33}{400 \times 55} = 0{,}623 \ \ (62{,}3\%)$$

Lưu ý: Phương pháp này có sai số lớn hơn với tải dưới 50% do hệ số công suất (PF) giảm.

Đánh giá và thảo luận

- Tại sao chúng ta cần đánh giá năng lượng của hệ thống động cơ?
- Chúng ta nên tìm kiếm những cơ hội nào?
- Chúng ta nên xem xét ở đâu?
- Chúng ta nên ưu tiên đánh giá những hệ thống nào?

Phần 16

Các công cụ phần mềm

Công cụ phần mềm

Giới thiệu về phần mềm MEASUR

- Công cụ động cơ
- Phân tích hệ thống động cơ

https://www.energy.gov/eere/iedo/measur

Tải xuống miễn phí có sẵn từ Bộ Năng lượng Hoa Kỳ

Phần 17

Xây dựng phương án tài chính cho dự án Tối ưu hóa hệ thống động cơ (MSO)

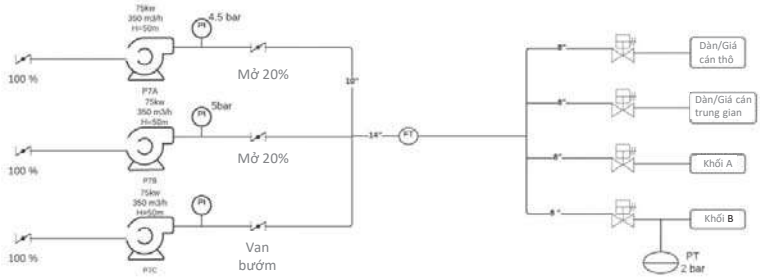
Báo cáo đề xuất kinh doanh

Các yếu tố chính của một báo cáo đề xuất kinh doanh:

- Tóm tắt điều hành
- Mục tiêu nghiên cứu
- Tổng quan quy trình sản xuất
- Mạng lưới điện và chi phí của nhà máy
- Lựa chọn hệ thống động cơ
- Tổng quan hệ thống động cơ
- Đo lường và phát hiện
- Phân tích kết quả hệ thống động cơ
- Cơ hội tiết kiệm năng lượng
- Tóm tắt các cơ hội
- Khuyến nghị

Tổng quan Hệ thống Động cơ

- Tổng quan về hệ thống động cơ đang được đánh giá
- Sơ đồ khối đơn giản
- Bao gồm các thông số quá trình
- Xây dựng cân bằng năng lượng
- Xác định các cơ hội trong toàn chuỗi cung ứng năng lượng



Phân tích

- Phải bao gồm tính toán đường cơ sở (về mức tiêu thụ năng lượng ban đầu)
- Phải bao gồm phân tích tất cả các thành phần của hệ thống động cơ
- Bao gồm mọi giả định (chi phí, thông số vận hành,⋯) đã được sử dụng để tính toán mức tiêu thụ năng lượng

Tóm tắt cơ hội

- Sau khi phân tích và xác định cơ hội
- Bảng hoặc sơ đồ tóm tắt để làm nổi bật các con số và lựa chọn chính
- Tốt để nhắc nhở người đọc về tất cả các cơ hội trong một bảng trên một trang

Tiêu chí	Cải thiện hiệu suất	Bật/Tắt	Điều khiển tốc độ quạt	Điều chỉnh góc cánh quạt	Hiệu chỉnh hệ số công suất
Phương pháp thực hiện	Thay thế động cơ công suất dư hiệu suất thấp hiện tại (190 kW) bằng động cơ hiệu suất cao mới IE4 (160 kW). **Chi phí:** Mua động cơ mới	Sửa đổi mạch điều khiển để thêm chế độ vận hành tự động và lắp bộ khởi động mềm để giảm tác động của việc khởi động lặp lại lên động cơ và các bộ phận cơ khí. **Chi phí:** Mua bộ khởi động mềm & sửa đổi mạch	Lắp biến tần và sửa đổi mạch điều khiển để thực hiện chế độ vận hành quạt tốc độ thay đổi. **Chi phí:** Mua biến tần, động cơ mới (tương thích với vận hành biến tần) & sửa đổi mạch	Điều chỉnh góc cánh quạt thành 8,9 trong sáu tháng có nhiệt độ môi trường cao và thành 7,9 trong sáu tháng có nhiệt độ môi trường thấp. **Chi phí:** Chi phí nhân công	Lắp đặt tủ tụ bù hệ số công suất với công suất phản kháng 90 kVAR. **Chi phí:** Mua tụ điện và lắp đặt
Chi phí thực hiện (ZAR)	300.000	80.000	460.000	3.000	20.000
Tiết kiệm hàng năm (ZAR)	6.384	82.313,1	116.826,89	11.970	1.191,92
Thời gian hoàn vốn (năm)	47	0,97	3,94	0,25	16,78

Thẩm định tài chính là gì?

Tất cả các tổ chức đều cần kiểm soát chi tiêu

- Chi tiêu hiện tại (chi phí)
- Chi phí vốn (đầu tư)

Cần lựa chọn nơi chi tiêu

- Chi tiêu; Có hay không?
- Lựa chọn giữa các phương án đầu tư vào dự án tiết kiệm
- Chọn giữa các phương án bằng các sử dụng chi phí vòng đời (LCC)

Cần có công cụ để hỗ trợ những lựa chọn này

Một số lựa chọn tài chính

Hai động cơ có cùng kích thước (cùng công suất):

Một cái giá 300.000 USD và cái còn lại 250.000 USD

Bạn sẽ mua cái nào?

Hai máy nén:

- Một cái giá 500.000 USD để mua và 200.000 USD/năm để vận hành
- Cái còn lại giá 700.000 USD để mua và 150.000 USD/năm để vận hành

Cái nào là tốt nhất?

Thời gian hoàn vốn đơn giản (SPB)

SPB = Chi phí ban đầu / Khoản tiết kiệm hàng năm

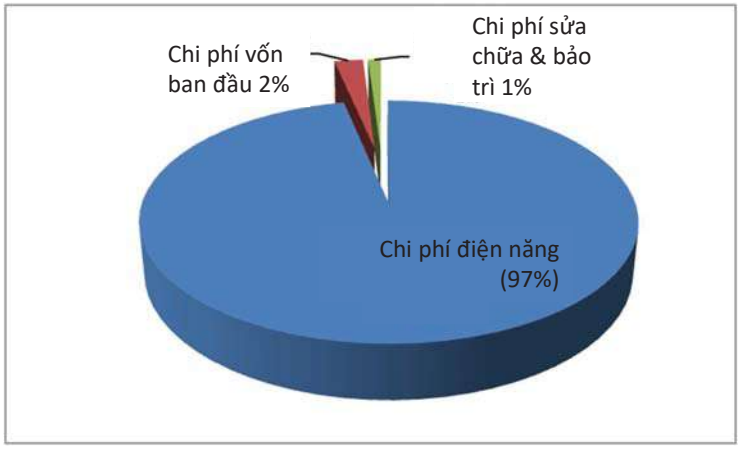
- Thông thường, các tổ chức có một giới hạn, ví dụ: chỉ những cơ hội có thời gian hoàn vốn dưới 2 năm mới được xem xét.
- Gọi là "đơn giản" vì nó không tính đến các yếu tố như lạm phát, thuế và chi phí vốn.

Chi Phí Vòng Đời (LCC)

- LCC được sử dụng để so sánh chi phí tổng của hai hay nhiều dự án trong suốt vòng đời của chúng.
- Tất cả dòng tiền đều mang giá trị âm vì chúng là các khoản chi phí.

- So sánh với NPV (Giá trị Hiện tại Ròng), NPV được dùng để đánh giá dự án nào trong hai dự án mang lại lợi nhuận tốt hơn giữa các phương án.

Tại sao nên sử dụng phương pháp tính Chi phí Vòng đời ?



Động cơ IE3 công suất 11 kW
Thời gian vận hành: 4.000 giờ/năm
Vòng đời: 15 năm
Giá điện: 0,0754 €/kWh

Nguồn: ISR – University of Coimbra

Tại sao các dự án tốt lại không được thực hiện?

Hiệu quả năng lượng thường bị nhìn nhận là:

- Không bắt buộc
- Ít quan trọng vì được coi là quy mô nhỏ
- Có rủi ro kĩ thuật
- Tùy chọn, không có ràng buộc pháp lý
- Tốn kém

Những người ra quyết định muốn thấy gì?

Một số vấn đề thường gặp

- Sử dụng thuật ngữ chuyên môn không giải thích hoặc từ ngữ mơ hồ
- Không giải quyết các vấn đề liên quan đến ban lãnh đạo
- Không xem xét các phương án thay thế khác
- Không xác định và xử lý các yếu tố rủi ro
- Không sử dụng phương pháp thẩm định tài chính phù hợp
- Trình bày lan man, thiếu trọng tâm
- Không đưa ra một khuyến nghị rõ ràng duy nhất

Bán ý tưởng! – Tóm tắt

- Hãy đặt mình vào vị trí của họ – liệu bạn có sẵn sàng đầu tư vào đề xuất này không?
- Bạn có thể "bán" thêm những lợi ích nào khác ngoài lợi ích chính?
- Đề xuất của bạn có đi thẳng vào trọng tâm và giải quyết được các rủi ro không?
- Bạn đã trình bày phương án tài chính theo cách thuyết phục nhất chưa?
- Bạn có đủ độ tin cậy để họ tin tưởng không?

Đánh giá và thảo luận

- Làm thế nào để thể hiện khoản tiết kiệm trong một báo cáo kinh doanh?
- Tại sao phải sử dụng phương pháp chi phí vòng đời (Life Cycle Costing)?

Phần 18

Xe điện (eMobility)

289

Xe điện (EV) và Phát triển bền vững

Xe điện (eMobility) liên quan đến các phương tiện giao thông (xe hai bánh, ô tô, xe tải, xe buýt, tàu hỏa, tàu thủy, máy bay) trong đó điện năng được sử dụng để cung cấp cho động cơ điện, nhằm tạo ra (một phần hoặc toàn bộ) công suất cơ học cần thiết để sinh ra chuyển động.

- **Xe điện là một giải pháp then chốt cho giao thông bền vững.**
- Sử dụng điện như một loại nhiên liệu giúp giao thông bền vững hơn nhờ:
  - Giảm phát thải CO_2
  - Cải thiện chất lượng không khí
  - Nâng cao hiệu quả năng lượng
  - Giảm sự phụ thuộc vào dầu mỏ
- Hiệu suất môi trường của xe điện sẽ còn được cải thiện hơn nữa nhờ cam kết sử dụng điện trung hòa cacbon vào năm 2050

Xe điện - Không phải là một điều mới!

1801-1900
Xe điện(EV) xuất hiện trên thị trường

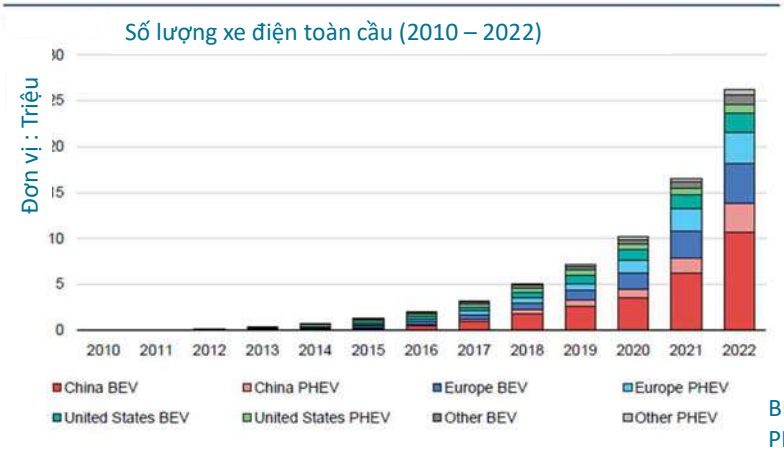
1901-1950
Sản xuất xe điện suy giảm

1951-1999
Giá dầu tăng cao->sự quan tâm xe điện

Từ năm 2000
Mối quan tâm đến xe điện ngày càng tang

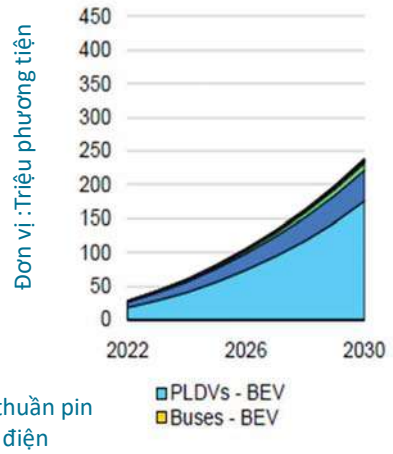
Xe Lohner-Porsche năm 1900 với các động cơ điện tích hợp ngay trong bánh xe (Wienkötter, 2018).

Tồn kho xe điện toàn cầu



2010 - 2022

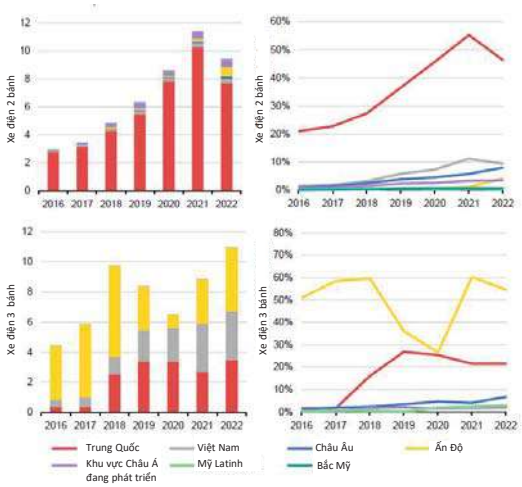
(Nguồn – IEA, 2023)



BEV : Xe thuần pin
PHEV: Xe điện hybrid sạc ngoài

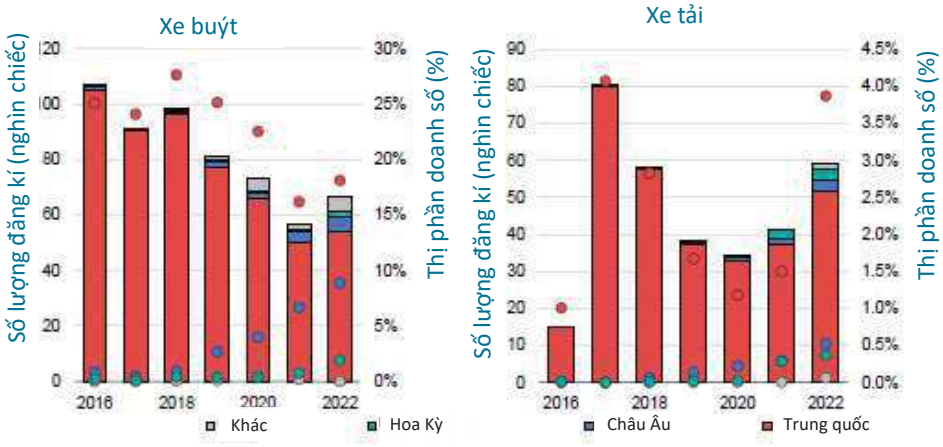
Dự báo

Doanh số toàn cầu của xe điện 2 bánh và 3 bánh



(Nguồn – IEA, 2023)

Doanh số toàn cầu của xe buýt và xe tải điện



(Nguồn – IEA, 2023)

Kiến trúc xe điện

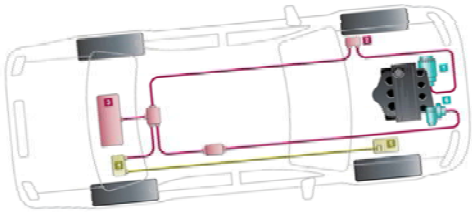
Xe điện hybrid (HEV)
- Tích hợp một động cơ/máy phát điện (MG) kết nối với bộ điều khiển và pin, song song với động cơ đốt trong (ICE).

Xe điện hybrid sạc ngoài(PHEV)
- Có khả năng sạc lại từ lưới điện
- Có thể vận hành hoàn toàn bằng chế độ điện với hiệu suất động lực tốt

Xe điện chạy bằng pin (BEV)
- Trang bị hệ thống sạc trên xe, pin dung lượng lớn(đã đạt 100kWh ở một số mẫu), bộ điều khiển và một hoặc nhiều động cơ điện trên mỗi xe, trục hoặc bánh xe
- Không có động cơ đốt trong

Xe hybrid nhẹ

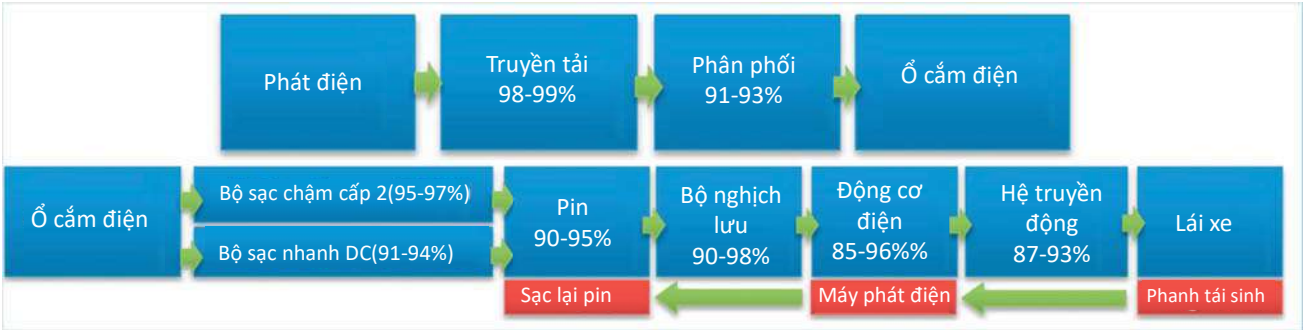
1. Máy phát khởi động điện
2. Bộ chuyển đổi AC/DC
3. Pin Lithium-ion 48V
4. Bộ chuyển đổi DC/DC
5. Pin axit-chì 12V
6. Bộ tăng áp điện



Máy phát khởi động công suất 10 kW (hoặc cao hơn):
- Chế độ motoring (hỗ trợ động cơ): Có thể tăng công suất cho động cơ nhằm cải thiện khả năng tăng tốc của xe và quản lý tải động cơ để giảm mức tiêu thụ nhiên liệu.
- Chế độ generating (phát điện): Khi xe chạy đều (cruising) hoặc trong quá trình giảm tốc/ dừng, máy phát khởi động có thể thu hồi năng lượng điện và nạp trở lại vào pin.

Bộ tăng áp điện (electric supercharger) loại bỏ nhược điểm độ trễ tăng áp (turbo lag) của bộ tăng áp truyền thống. Mục đích chính của nó là tăng mật độ hỗn hợp không khí/nhiên liệu nạp vào xi lanh của động cơ.

Hiệu suất năng lượng của xe điện (EVs)



Dải hiệu suất của các thành phần khác nhau trên đường đi năng lượng của một xe điện (EV)

So sánh các công nghệ động cơ xe điện

Đặc điểm	Loại Động cơ		
	IM (Động cơ cảm ứng)	**PM (Động cơ nam châm vĩnh cửu)**	**SynRM (Động cơ đồng bộ từ trở)**
Mật độ công suất	Trung bình	Rất cao	Cao
Hiệu suất	Trung bình	Rất cao	Cao
Khả năng điều khiển	Rất cao	Cao	Trung bình
Độ tin cậy	Rất cao	Cao	Rất cao
Mức độ trưởng thành CN	Rất cao	Cao	Cao
Chi phí	Rất thấp	Cao	Thấp

Tương lai của các trạm sạc xe điện EV

Xe buýt điện

Các thành phố trên toàn thế giới đang đưa xe buýt điện (e-buses) vào sử dụng, được thúc đẩy bởi những lo ngại ngày càng tăng về chất lượng không khí, lượng phát thải CO_2 và tiềm năng tiết kiệm chi phí vận hành.

Xe buýt điện

Ngoài việc cải thiện chất lượng không khí, còn có nhiều yếu tố khác giúp thúc đẩy việc áp dụng xe buýt điện (e-buses):

- Tổng chi phí sở hữu (TCO) thấp hơn: trong ngày càng nhiều cấu hình, xe buýt điện có TCO thấp hơn so với xe buýt diesel hoặc khí nén thiên nhiên (CNG) tương đương. Tiết kiệm chi phí vận hành là một trong những lập luận quan trọng để ủng hộ việc đưa e-buses vào sử dụng tại nhiều thành phố.
- Giảm tiếng ồn và thời gian ngừng hoạt động: e-buses vận hành êm hơn nhiều so với xe buýt diesel hoặc CNG, giúp giảm ô nhiễm tiếng ồn. Đồng thời, e-buses gần như không cần bảo trì.
- Xem xét chính sách công nghiệp: một số chính phủ có thể coi đây là cơ hội để xây dựng ngành công nghiệp nội địa xoay quanh quá trình điện khí hóa giao thông. Việc tạo công ăn việc làm từ sản xuất e-buses và phát triển hạ tầng trạm sạc là một lập luận tích cực khác ủng hộ e-buses.

Xe buýt điện – Sản xuất tại Uganda

Một ví dụ điển hình mà các quốc gia khác có thể noi theo

Sức chứa hành khách	90 (49 chỗ ngồi, 41 chỗ đứng)
Công suất cực đại của động cơ	245 kW
Mômen xoắn	3.300 Nm
Quãng đường di chuyển sau mỗi lần sạc	300 km
Dung lượng pin	301 kWh

Đánh giá và thảo luận

- Có câu hỏi nào không?

Phần 19

Lưới điện thông minh và Điều chỉnh nhu cầu

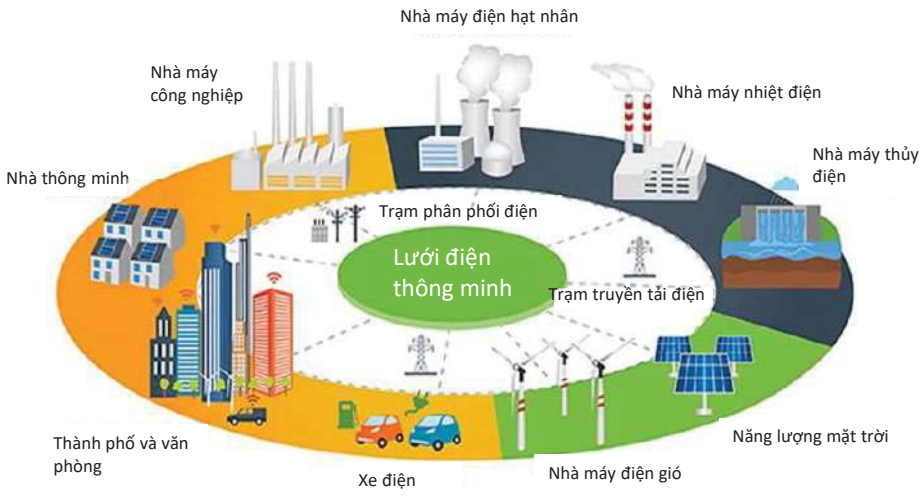
Định nghĩa Lưới điện Thông minh

- **Lưới điện thông minh là một mạng lưới điện sử dụng công nghệ số và các công nghệ tiên tiến khác** để giám sát và quản lý việc truyền tải điện từ tất cả các nguồn phát điện, nhằm đáp ứng nhu cầu điện thay đổi của người dùng cuối.

- Lưới điện thông minh điều phối nhu cầu và khả năng của các nhà phát điện, đơn vị vận hành lưới, người tiêu dùng và các bên liên quan trong thị trường điện **để vận hành toàn bộ hệ thống một cách hiệu quả nhất, giảm thiểu chi phí và tác động môi trường, đồng thời tối đa hóa độ tin cậy, khả năng chống chịu, tính linh hoạt và ổn định của hệ thống**.

Lưới điện thông minh

Tích hợp tối ưu các nhà máy nhiệt điện, năng lượng tái tạo, lưu trữ năng lượng và tải linh hoạt



Tầm quan trọng của tính linh hoạt về Nhu cầu

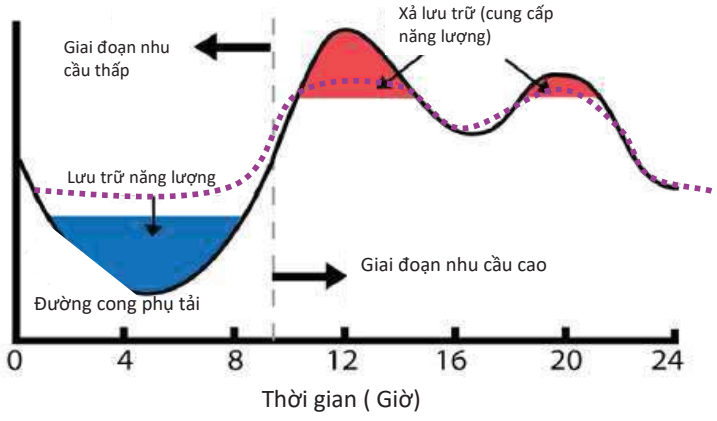
CÁC YẾU TỐ GIÁ TRỊ CƠ BẢN CỦA TÍNH LINH HOẠT NHU CẦU

Danh mục	Khả năng của tính linh hoạt nhu cầu	Giá trị cho lưới điện	Giá trị cho khách hàng
Công suất	Có thể giảm tải cực đại của lưới và làm phẳng hồ sơ nhu cầu tổng thể của khách hàng	Tránh được chi phí đầu tư phát điện, truyền tải, phân phối; giảm tổn thất lưới; giảm suy hao thiết bị	Với cơ chế giá đánh vào nhu cầu cực đại (ví dụ: phí phụ tải cực đại), giúp giảm hóa đơn điện
Năng lượng	Có thể dịch chuyển phụ tải từ giờ giá cao sang giờ giá thấp	Tránh sản xuất từ các nguồn chi phí biên cao	Với cơ chế giá thay đổi theo thời gian (ví dụ: giá theo khung giờ, giá theo thời gian thực), giúp giảm hóa đơn điện
Tích hợp năng lượng tái tạo	Có thể tái định hình hồ sơ phụ tải để phù hợp hơn với hồ sơ sản xuất năng lượng tái tạo (ví dụ: điện mặt trời mái nhà)	Giảm thách thức tích hợp năng lượng tái tạo (ví dụ: yêu cầu tăng giảm công suất, phụ tải tối thiểu)	Với cơ chế giá khuyến khích tiêu thụ tại chỗ (ví dụ: giảm chi phí bù xuất khẩu PV), giúp giảm hóa đơn điện

Tính linh hoạt về nhu cầu là thiết yếu để tích hợp nguồn năng lượng tái tạo không ổn định (như điện mặt trời và gió).

Lưu trữ năng lượng để san bằng đỉnh phụ tải

Hệ thống lưu trữ năng lượng (EES) trong việc san bằng đỉnh



- Lưu trữ năng lượng có thể thực hiện bằng điện hoặc thông qua các dịch vụ khác như: kho lạnh, lưu trữ nước, lưu trữ trong quá trình sản xuất công nghiệp, v.v.
- Kết quả: tạo ra một đường cong phụ tải bằng phẳng và đều đặn hơn, đồng thời giảm mức đỉnh phụ tải tổng thể.

Các loại công nghệ lưu trữ năng lượng

Cơ học (Mechanical)	Điện hóa học (Electrochemical)	Điện học (Electrical)	Hóa học (Chemical)	Nhiệt (Thermal)
• **Thủy điện tích năng (PHS)** • **Lưu trữ không khí nén (CAES)** • **Bánh đà (FES)**	• **Pin điện hóa:** ▪ Ắc quy chì-axit ▪ Pin nền niken ▪ Pin nền natri ▪ Pin Lithium-ion • **Pin dòng chảy :** ▪ Pin dòng chảy oxi hóa khử ▪ Pin dòng chảy lai	• **Siêu tụ điện** • **Lưu trữ từ trường siêu dẫn (SMES)**	• **Hydro (Pin nhiên liệu)**	• **Nhiệt độ thấp (Low Temp):** ▪ Lưu trữ nước ngầm ▪ Lưu trữ đông lạnh (Cryogenic) • **Nhiệt độ cao (High Temp):** ▪ Vật liệu chuyển pha (PCM) ▪ Điện mặt trời tập trung (CSP)

Tải động cơ linh hoạt công suất lớn

- Gia công vật liệu trong công nghiệp (ví dụ: máy nghiền xi măng, ngành khai thác mỏ)
- Kho lạnh
- Tải điều hòa không khí có tích hợp hệ thống trữ lạnh
- Các trung tâm dữ liệu lớn
- Hệ thống tưới tiêu - tận dụng năng lượng mặt trời
- Nhà máy khử muối nước biển - tận dụng năng lượng mặt trời, sử dụng hồ chứa
- **Xe điện (ô tô, xe buýt, xe tải) - có thể sạc điện vào giờ thấp điểm hoặc bằng điện mặt trời**

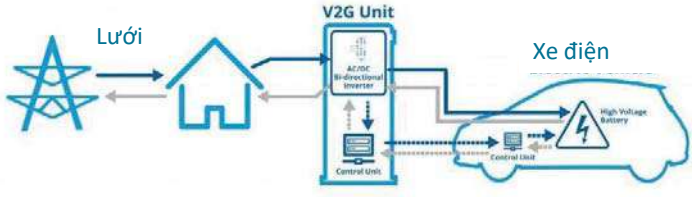
Xe điện và Hệ thống điện thông minh

- Xe điện có tiềm năng cung cấp tính linh hoạt vừa như tải di động vừa như nguồn lưu trữ năng lượng.
- Nguồn năng lượng tái tạo có thể bổ trợ tốt cho việc sạc xe điện.

- Việc phổ cập EV trên quy mô lớn đòi hỏi phải có sự kết nối thông minh giữa xe và lưới điện.
- Sạc thông minh là nền tảng trong phát triển lưới điện thông minh, mang lại lợi ích cho hệ thống điện, tài xế EV, người tiêu dùng và toàn xã hội.

Xe điện kết nối lưới (V2G)

- Xe điện có thể đưa pin của mình phục vụ cho việc cân bằng giữa phát điện và nhu cầu tiêu thụ, hoạt động như một bộ đệm: lưu trữ năng lượng khi lưới có thừa nguồn và giải phóng năng lượng khi lưới thiếu nguồn. Chế độ vận hành này được gọi là Vehicle to Grid (V2G).
- Mỗi xe điện sẽ chủ động đóng góp vào việc ổn định lưới điện và tăng cường khả năng thâm nhập của các nguồn năng lượng tái tạo.



Nguồn: CENEX

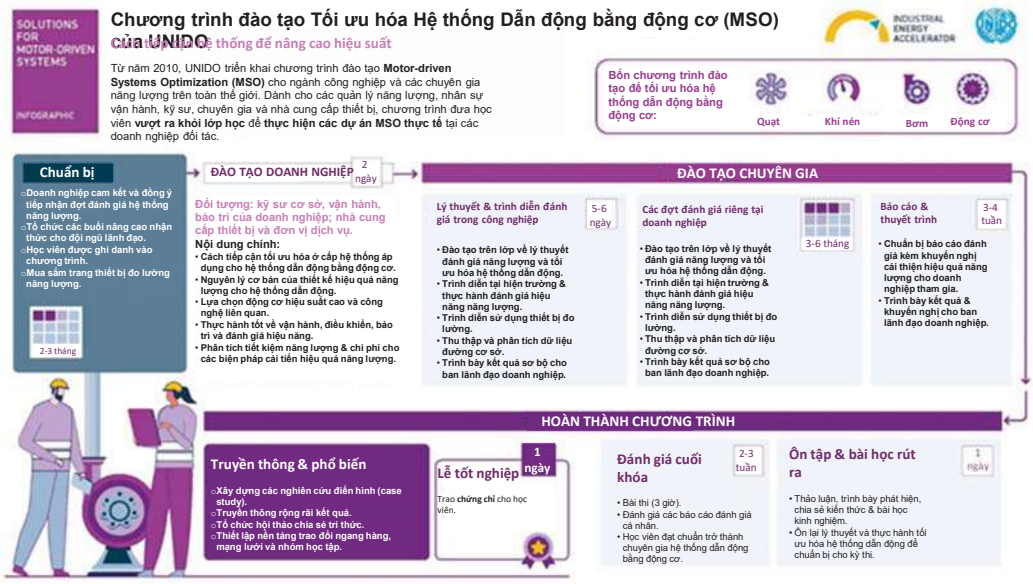
Đánh giá & Thảo luận

- Có câu hỏi nào không?

Phần 20

Hướng dẫn đào tạo MSO

Chu trình đào tạo MSO



Chương trình đào tạo chuyên gia MSO

Tại sao mọi người nên tham dự?

- Tiết kiệm chi phí cho công ty
- Phát triển kĩ năng cá nhân
- Phương pháp đánh giá được công nhận toàn cầu
- Chứng chỉ được công nhận

Mọi người có thể mong đợi điều gì?

- Chương trình đào tạo bài bản
- Kết hợp giữa đào tạo trên lớp và học tập trải nghiệm có hướng dẫn
- Đánh giá thực tiễn cá nhân với sự hỗ trợ đầy đủ từ các chuyên gia đào tạo quốc tế

Yêu cầu đối với người tham gia:

- Quan tâm tới hệ thống năng lượng và có nền tảng kiến thức phù hợp
- Có thể tiếp cận một địa điểm phù hợp để học tập thực hành trải nghiệm
- Tổng thời gian 15 ngày trải dài trong 8 tháng

Đối tượng nên tham dự

- Kỹ sư và chuyên viên thực hành có mong muốn trở thành chuyên viên đánh giá hệ thống động cơ
- Cá nhân muốn trở thành giảng viên đào tạo về hệ thống động cơ

Các lựa chọn chứng chỉ MSO

Chứng chỉ Tham dự

- Dành cho những học viên quan tâm đến động cơ và muốn nâng cao kiến thức về hệ thống động cơ.
- Yêu cầu tham dự ít nhất 75% tổng thời lượng khóa học.

Chứng chỉ Chuyên gia

- Dành cho những học viên mong muốn trở thành chuyên gia thực hành trong việc đánh giá hệ thống động cơ.
- Dành cho những học viên muốn trở thành giảng viên và người hướng dẫn hệ thống động cơ.

Chứng chỉ Chuyên gia MSO

Yêu cầu:

- Tham gia khóa Đào tạo Doanh nghiệp (2 ngày).
- Làm và đạt bài kiểm tra cuối khóa Đào tạo Doanh nghiệp với điểm số ít nhất 70%.
- Tham gia khóa Đào tạo Chuyên gia (5 ngày).
- Tích cực tham gia thảo luận trên lớp, các buổi trình diễn thực hành và thuyết trình.
- Hoàn thành một bài đánh giá cá nhân về MSO tại một nhà máy công nghiệp.
- Tham dự các buổi webinar cập nhật tiến độ trong suốt quá trình thực hiện đánh giá MSO.
- Làm và vượt qua kỳ thi cuối cùng dựa trên các nội dung đã học, với điểm tối thiểu 70%.
- Đạt điểm trung bình cuối cùng tối thiểu 70%, tính dựa trên báo cáo cá nhân, kỳ thi cuối và mức độ tham gia lớp học.

Giảng viên và Điều phối viên MSO

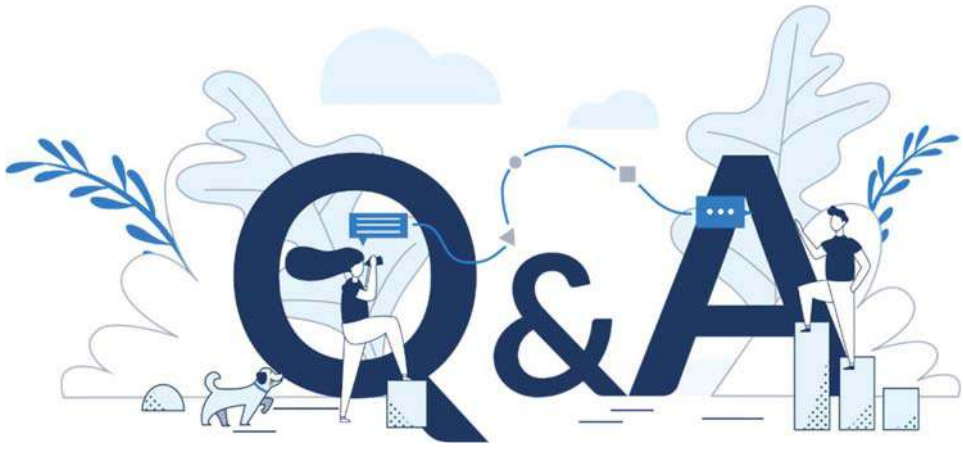
Mục đích

- Tạo điều kiện cho việc chuyển giao tri thức liên tục
- Xây dựng năng lực địa phương để tự duy trì

Yêu cầu

- **Khả năng đào tạo** – có thể tương tác, thu hút và giao tiếp hiệu quả với học viên trong môi trường học tập
- **Kiến thức** – am hiểu chuyên môn, có khả năng tư duy phản biện, phân tích thách thức và tổng hợp giải pháp
- **Thái độ** – hành xử chyên nghiệp, đi kèm với đạo đức và các giá trị mà UNIDO coi trọng.

Bất kỳ câu hỏi nào?

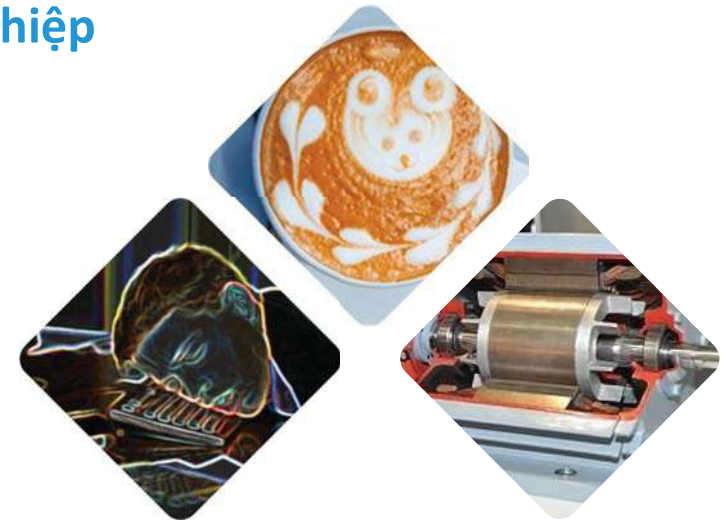


Bước tiếp theo: Bắt đầu hành trình MSO của bạn

- Tại nhà máy, nơi làm việc hoặc chính ngôi nhà của bạn
- Lập danh sách các hệ thống động cơ và định lượng mức tiêu thụ năng lượng
- Xác định yêu cầu quy trình/sản xuất cho từng hệ thống
- Nhận diện và triển khai các cơ hội phù hợp
- Tiết kiệm chi phí
- Đánh giá mức độ phù hợp của bạn để tham gia chương trình chuyên gia

Kết thúc Đào tạo Doanh nghiệp

Cảm ơn bạn đã tham gia



TUYÊN BỐ MIỄN TRỪ TRÁCH NHIỆM

Tài liệu này được biên soạn trong khuôn khổ Dự án "Đẩy mạnh hoạt động tiết kiệm năng lượng trong các doanh nghiệp công nghiệp lớn thông qua hệ thống quản lý năng lượng và tối ưu hóa hệ thống và thực hành tiết kiệm năng lượng trong các doanh nghiệp vừa và nhỏ tại Việt Nam" (Dự án IEEP) do Liên minh châu Âu (EU) tài trợ, Bộ Công Thương (Bộ CT) quản lý và Tổ chức Phát triển công nghiệp Liên hợp quốc (UNIDO) thực hiện. Nội dung tài liệu hoàn toàn thuộc trách nhiệm của Dự án và không nhất thiết phản ánh quan điểm của bất kỳ cá nhân hay tổ chức nào.

XIN CẢM ƠN!