

**TCVN**

**TIÊU CHUẨN QUỐC GIA**

**TCVN 6627-31:2011**

**IEC 60034-31:2010**

Xuất bản lần 1

**MÁY ĐIỆN QUAY –  
PHẦN 31: LỰA CHỌN ĐỘNG CƠ HIỆU SUẤT NĂNG LƯỢNG  
KÈ CẢ CÁC ỨNG DỤNG BIẾN ĐỔI TỐC ĐỘ –  
HƯỚNG DẪN ÁP DỤNG**

*Rotating electrical machines –*

*Part 31: Selection of energy-efficient motors including variable speed applications –  
Application guide*

HÀ NỘI – 2011

**Mục lục**

	<b>Trang</b>
Lời nói đầu .....	4
Lời giới thiệu .....	5
1 Phạm vi áp dụng .....	7
2 Tài liệu viện dẫn .....	7
3 Thuật ngữ và định nghĩa .....	7
4 Qui định chung .....	8
5 Hiệu suất .....	10
6 Môi trường .....	23
7 Các ứng dụng .....	26
8 Tính kinh tế .....	30
9 Bảo trì .....	36
Phụ lục A (tham khảo) – Hiệu suất siêu đặc biệt (IE4) .....	38
Thư mục tài liệu tham khảo .....	45

**Lời nói đầu**

TCVN 6627-31:2011 hoàn toàn tương đương với IEC 60034-31:2010;

TCVN 6627-31:2011 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn Quốc gia TCVN/TC/E1 *Máy điện và khí cụ điện* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

## Lời giới thiệu

Tiêu chuẩn này đưa ra hướng dẫn về kỹ thuật để lựa chọn động cơ hiệu suất năng lượng trong các ứng dụng có tốc độ không đổi và thay đổi. Tiêu chuẩn này không đề cập đến các khía cạnh có bản chất thuần túy thương mại.

Tiêu chuẩn này không đề cập đến phương pháp nhằm đạt được hiệu suất cao mà chỉ đề cập đến các thử nghiệm để kiểm tra giá trị đã công bố. TCVN 6627-2-1 (IEC 60034-2-1) là một tiêu chuẩn quan trọng cho mục đích này.

Trong 15 năm trở lại đây, có nhiều thỏa thuận đã được hình thành ở nhiều khu vực trên thế giới liên quan đến cấp hiệu suất của động cơ điện cảm ứng lồng sóc ba pha có công suất ra tối đa đến xấp xỉ 200 kW, vì các động cơ thuộc cỡ này được lắp đặt với số lượng lớn và hầu hết các bộ phận của động cơ được sản xuất hàng loạt. Thiết kế các động cơ này thường bị chi phối bởi nhu cầu của thị trường là chi phí đầu tư thấp, do đó hiệu suất năng lượng không phải là ưu tiên hàng đầu.

TCVN 6627-30 (IEC 60034-30) đã định nghĩa cấp hiệu suất IE đối với động cơ cảm ứng lồng sóc một tốc độ và qui định qui trình thử nghiệm:

- IE1 Hiệu suất tiêu chuẩn
- IE2 Hiệu suất cao
- IE3 Hiệu suất đặc biệt
- IE4 Hiệu suất siêu đặc biệt

Việc xác định hiệu suất đối với động cơ cấp điện qua bộ biến tần sẽ được đưa vào tiêu chuẩn IEC 60034-2-3.

Tuy nhiên, đối với động cơ có công suất 1 MW trở lên, mà thường được làm theo yêu cầu của khách hàng, hiệu suất cao luôn là một trong những mục đích thiết kế quan trọng nhất. Hiệu suất đầy tải của các động cơ này thường nằm trong phạm vi từ 95 % đến 98 %. Hiệu suất thường là một phần trong hợp đồng mua bán và sẽ bị phạt nếu không đáp ứng giá trị bảo đảm này. Do đó, các thông số đặc trưng cao hơn này là điều quan trọng thứ yếu khi ấn định cấp hiệu suất.

Với sự cho phép của Hiệp hội các Nhà chế tạo điện Quốc gia (NEMA), một số phần trong tiêu chuẩn này dựa trên NEMA MG 10, Hướng dẫn quản lý năng lượng để lựa chọn và sử dụng động cơ cảm ứng lồng sóc nhiều pha xoay chiều tần số cố định.



## Máy điện quay –

# Phần 31: Lựa chọn động cơ hiệu suất năng lượng kể cả các ứng dụng thay đổi tốc độ – Hướng dẫn áp dụng

*Rotating electrical machines –*

*Part 31: Selection of energy-efficient motors including variable speed applications –*

*Application guide*

## 1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này đưa ra các hướng dẫn mang tính kỹ thuật để ứng dụng động cơ điện ba pha hiệu suất năng lượng. Tiêu chuẩn này không chỉ áp dụng cho nhà chế tạo động cơ, nhà chế tạo thiết bị gốc (OEM), người sử dụng cuối, nhà quản lý và nhà lập pháp mà còn áp dụng cho tất cả các bên liên quan khác.

Tiêu chuẩn này áp dụng cho tất cả các máy điện thuộc phạm vi áp dụng của TCVN 6627-30 (IEC 60034-30). Tuy nhiên, hầu hết các thông tin cũng liên quan đến máy điện cảm ứng lồng sóc có công suất ra lớn hơn 375 kW.

## 2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn dưới đây là cần thiết để áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu có ghi năm công bố thì áp dụng bản được nêu. Đối với các tài liệu không ghi năm công bố thì áp dụng bản mới nhất (kể cả các sửa đổi).

TCVN 6627-1 (IEC 60034-1), Máy điện quay – Phần 1: Thông số đặc trưng và tính năng

TCVN 6627-30 (IEC 60034-30), Máy điện quay – Phần 30: Cấp hiệu suất của động cơ cảm ứng lồng sóc ba pha một tốc độ (mã IE)

## 3 Thuật ngữ, định nghĩa và ký hiệu

### 3.1 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa nêu trong TCVN 6627-1 (IEC 60034-1) và TCVN 6627-30 (IEC 60034-30).

3.2 Ký hiệu

- $\eta_n$  hiệu suất danh nghĩa, %
- $\eta_N$  hiệu suất danh định, %
- $f_N$  tần số danh định, Hz
- $n_N$  tốc độ danh định, r/min
- $P_N$  công suất ra danh định, kW
- $T_N$  mômen đầu ra danh định, Nm
- $U_N$  điện áp danh định, V

4 Qui định chung

	Thành phần điện	Thành phần cơ	Ứng dụng	Tự động hóa xí nghiệp	Thu hồi năng lượng
Bảo trì đúng và đầu đặn					
Chế độ liên tục S1	Động cơ hiệu suất năng lượng	Hộp số, bu lông hiệu suất năng lượng	Hệ thống truyền động thay đổi tốc độ	Nguồn điện hiệu suất cao nhất	
	Thiết bị hiệu chỉnh hệ số công suất	Bơm, quạt, máy nén hiệu suất năng lượng	Giảm tổn hao truyền tải điện	Chế độ năng lượng thấp trong giai đoạn nghỉ	
Chế độ ngắn hạn S2	Sử dụng các thành phần kinh tế nhất				
Chế độ gián đoạn S3...S10	Khởi động mềm có điều khiển tần số	Giảm thiểu quán tính của phần quay	Hệ thống truyền động thay đổi tốc độ	Nguồn điện hiệu suất nhất	Hãm tái sinh
			Khối lượng và lưu lượng được tối ưu hóa	Chế độ năng lượng thấp trong giai đoạn nghỉ	Ghép nối liên kết điện một chiều Acqui, tụ lớn, bánh đà,...

Hình 1 – Tổng quan các lĩnh vực khác nhau về tiết kiệm điện năng với hệ thống truyền động

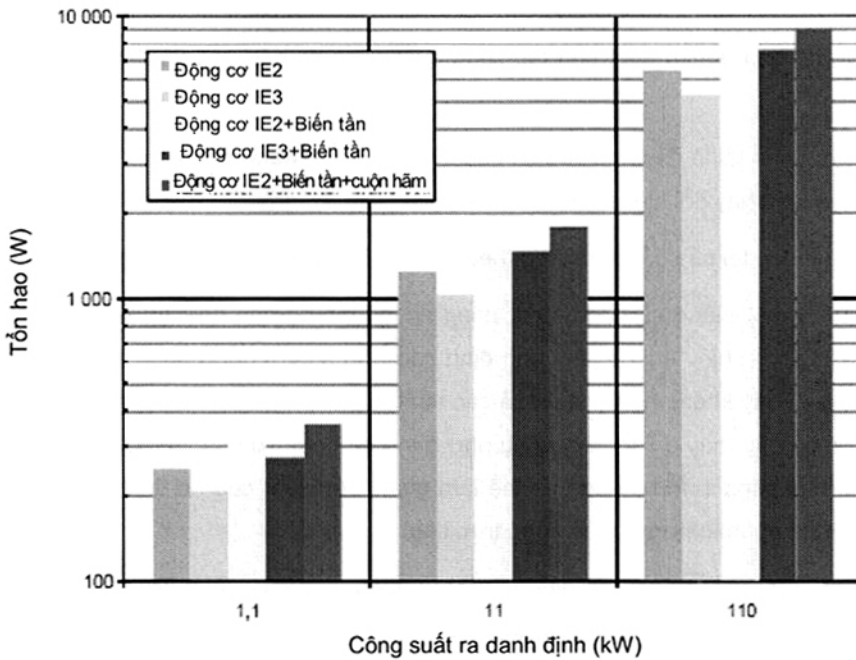
Có thể tiết kiệm được năng lượng trong các lĩnh vực khác nhau của hệ thống truyền động điện tùy thuộc vào kiểu chế độ (liên tục hoặc gián đoạn).

Trong các ứng dụng chế độ liên tục, việc cải thiện hiệu suất của động cơ điện là rất có lợi. Hệ số công suất được cải thiện (bộ biến tần, động cơ đồng bộ) có thể giúp làm giảm tổn hao  $I^2R$  trong các cáp. Tối

ưu hóa về cơ khí (hộp số, đai, bơm, quạt, v.v...) có thể tiết kiệm được nhiều hơn so với việc cải tiến động cơ điện.

Cũng cần xem xét phần ứng dụng vì, trong nhiều trường hợp, phần đóng góp chính trong tiết kiệm năng lượng có thể đạt được bằng cách quản lý tải ứng dụng trên quan điểm hệ thống. Đối với mục đích này, việc điều khiển tốc độ theo nhu cầu thường là hữu ích.

Việc bảo trì đúng cũng rất có lợi. Nhiều nhà máy công nghiệp tiêu thụ nhiều năng lượng trong các mạch điều khiển điện áp thấp (thường là nguồn điện 24 V). Do đó, cần sử dụng các nguồn điện hạ áp hiệu suất cao. Nếu có thể, phân xưởng cũng nên tắt nguồn trong thời gian nghỉ dài (cuối tuần, ngày lễ).



**Hình 2 – Tổn hao điện hình của động cơ hiệu suất năng lượng, bộ biến tần và cơ cấu hãm điện-cơ**

Hình 2 đưa ra tổng quan về tổn hao điện hình của động cơ hiệu suất năng lượng và tổn hao điện hình đối với hệ thống truyền động điện bao gồm động cơ cùng với bộ biến tần nguồn áp, có hoặc không có cuộn hãm của cơ cấu hãm động cơ kiểu điện cơ.

Trong các ứng dụng chế độ gián đoạn, động cơ hiệu suất năng lượng không hiệu quả lắm và thậm chí có thể tiêu thụ nhiều năng lượng hơn do quán tính và dòng điện khởi động tăng cao. Đối với các ứng dụng này, có thể giảm tiêu thụ năng lượng trong giai đoạn khởi động bằng cách sử dụng bộ biến tần. Việc tích trữ năng lượng trung gian có thể có lợi khi chu kỳ làm việc bao gồm nhiều giai đoạn hãm tái sinh (ví dụ bộ truyền động cần trục, thang máy, cần cầu, v.v...).

## 5 Hiệu suất

### 5.1 Qui định chung

Hiệu suất động cơ là thước đo mức hiệu suất của việc chuyển hóa điện năng thành cơ năng, và được thể hiện bằng tỷ số giữa công suất ra trên công suất vào:

$$\text{Hiệu suất} = \frac{\text{Công suất ra}}{\text{Công suất vào}} = \frac{\text{Công suất ra}}{\text{Công suất ra} + \text{Tổn hao}}$$

Hiệu suất động cơ thường được cho ở tải danh định, mặc dù cũng có thể cung cấp thêm các giá trị xấp xỉ ở 3/4 tải và 1/2 tải.

Hiệu suất động cơ về cơ bản là hàm của phụ tải, công suất danh định và tốc độ động cơ, như chỉ ra dưới đây.

a) Sự thay đổi hiệu suất theo tải là đặc tính vốn có của động cơ. Vận hành động cơ ở tải khác đáng kể với tải danh định có thể làm thay đổi hiệu suất động cơ (xem Hình 3).

b) Nhìn chung, hiệu suất đầy tải của động cơ tăng theo cỡ và công suất đầu ra của động cơ.

c) Nhìn chung, với cùng một thông số công suất, động cơ có tốc độ cao hơn thì thường có, nhưng không phải lúc nào cũng vậy, hiệu suất ở tải danh định cao hơn so với động cơ có tốc độ danh định thấp hơn. Tuy nhiên, điều này không ngụ ý là tất cả các thiết bị cần được truyền động bởi các động cơ tốc độ cao. Khi cần có cơ cấu thay đổi tốc độ, ví dụ như bánh đà hoặc hộp số, để đạt được tốc độ cần thiết thấp hơn thì tổn hao công suất bổ sung có thể làm giảm hiệu suất của hệ thống đến giá trị thấp hơn giá trị do động cơ tốc độ thấp hơn truyền động trực tiếp.

Có mối quan hệ xác định giữa tốc độ danh định ( $r/min$ ) và hiệu suất của động cơ cảm ứng lồng sóc. Điều này có nghĩa là tốc độ danh định càng nhỏ thì hiệu suất càng nhỏ, bởi vì hệ số trượt là thước đo tổn hao trong dây quấn rô to (hệ số trượt của động cơ cảm ứng là chênh lệch giữa tốc độ đồng bộ và tốc độ làm việc). Hệ số trượt, thể hiện bằng phần trăm, là chênh lệch về tốc độ này chia cho tốc độ đồng bộ và nhân với 100. Do đó, các động cơ cảm ứng lồng sóc có thiết kế N có hệ số trượt khi đầy tải nhỏ hơn 5 % có hiệu suất cao hơn so với các động cơ cơ hệ số trượt lớn hơn và nên sử dụng các động cơ này nếu ứng dụng cho phép.

Đối với các tải ví dụ như bơm, quạt và máy nén khí, có thể tiết kiệm đáng kể năng lượng bằng cách sử dụng động cơ nhiều tốc độ hoặc sử dụng bộ truyền động thay đổi tốc độ (VSD). Tuy nhiên, cần lưu ý là hiệu suất của động cơ nhiều tốc độ thì ở từng tốc độ làm việc, hiệu suất thường thấp hơn một chút so với hiệu suất của động cơ một tốc độ có thông số đặc trưng tương đương. Động cơ nhiều tốc độ một dây quấn (ví dụ dây quấn Dahlander) nhìn chung có hiệu suất cao hơn động cơ nhiều tốc độ hai dây quấn.

Động cơ làm việc liên tục hoặc làm việc trong thời gian dài thường có khả năng giảm năng lượng tiêu thụ đáng kể. Ví dụ về các ứng dụng này là máy gia công, thiết bị lưu thông không khí, bơm và nhiều loại thiết bị công nghiệp khác.

Trong khi nhiều động cơ được vận hành liên tục thì lại có một số động cơ được sử dụng chỉ trong thời gian rất ngắn và tổng số giờ trong một năm là rất ít. Ví dụ về các ứng dụng này là động cơ van, động cơ vận hành cửa đập nước, động cơ mở cửa sử dụng trong công nghiệp, bơm chữa cháy và bơm thoát nước. Trong các trường hợp này, thay đổi hiệu suất động cơ không làm thay đổi đáng kể tổng chi phí năng lượng vì tổng lượng năng lượng tiêu thụ là rất ít, và có thể làm giảm tính năng cần thiết.

Việc tăng hiệu suất động cơ dù chỉ một vài phần trăm có thể thể hiện lượng giảm khá đáng kể tổn hao trong động cơ tính bằng phần trăm. Ví dụ, đối với cùng một công suất đầu ra, tăng hiệu suất từ 75 % lên 78,9 %, từ 85 % lên 87,6 % hoặc từ 90 % lên 91,8 % làm giảm tổn hao 20 % cho mỗi trường hợp.

Thông thường hiệu suất tăng theo cỡ động cơ nên máy điện điện áp cao có công suất động cơ lớn hơn 1 MW thường có hiệu suất lớn hơn 95 %.

**CHÚ THÍCH:** Trong khi công suất ra của động cơ điện tăng theo bình phương đường kính động cơ thì tiêu tán nhiệt cho phép lại gần như chỉ tăng tuyến tính. Do đó, hiệu suất cao hơn là điều kiện tiên quyết đối với các thiết kế các động cơ lớn hơn.

## 5.2 Tổn hao của động cơ

Động cơ điện biến điện năng thành cơ năng và trong khi thực hiện việc này động cơ bị tổn hao thường được mô tả như sau:

- Tổn hao điện (stato và rôto) (thay đổi theo tải) – Dòng điện chạy qua dây quấn stato và rôto sinh ra tổn hao tỷ lệ với bình phương dòng điện nhân với điện trở dây quấn ( $I^2R$ ). Tổn hao trong rôto tăng theo hệ số trượt.
- Tổn hao (lõi) sắt (về cơ bản không phụ thuộc vào tải) – Tổn hao này sinh ra chủ yếu trong các lõi thép của stato và, một lượng ít hơn trong rôto. Trường từ, cần thiết để tạo mômen trong động cơ, gây ra tổn hao từ trễ và tổn hao do dòng điện xoáy.
- Tổn hao cơ (ma sát và gió) (về cơ bản không phụ thuộc vào tải) – Tổn hao cơ xuất hiện trong các ổ trục, quạt gió và gioăng của động cơ. Các tổn hao này nhìn chung là nhỏ trong các động cơ tốc độ thấp IP2X, IP4X và IP5X, nhưng có thể là đáng kể trong các động cơ cỡ lớn, tốc độ cao hoặc trong các động cơ kín hoàn toàn IP6X.
- Tổn hao tải bổ sung (tổn hao tải tạp tán) – Tổn hao bổ sung tần số cơ bản và tần số cao trong sắt; tổn hao trong dây dẫn và tổn hao dòng điện chạy quấn trong dây quấn stato; và tổn hao do sóng hài trong dây dẫn rôto khi có tải. Các tổn hao này được coi là tỷ lệ với bình phương mômen.

Bảng 1 dưới đây đưa ra các thành phần tổn hao của động cơ, thường biểu thị bằng phần trăm tổn hao tổng trong động cơ và các yếu tố về thiết kế và kết cấu ảnh hưởng đến độ lớn của các tổn hao này.

**Bảng 1 – Phân bố các loại tổn hao trong động cơ điện cảm ứng lồng sóc ba pha 4 cực**

	Giá trị phần trăm điển hình của tổn hao trong động cơ bốn cực	Các yếu tố ảnh hưởng đến tổn hao
Tổn hao stato	30 đến 50	Cỡ dây và vật liệu stato
Tổn hao rôto	20 đến 25	Cỡ dây và vật liệu rôto
Tổn hao lõi	20 đến 25	Loại và lượng vật liệu từ
Tổn hao tải bổ sung	5 đến 15	Cơ bản là phương pháp thiết kế và chế tạo
Tổn hao ma sát và gió	5 đến 10	Chọn/thiết kế quạt và ổ trục

Nhìn chung, bằng cách tăng vật liệu tác dụng trong động cơ, tức là loại và lượng dây dẫn và vật liệu từ, có thể sẽ giảm được tổn hao.

### 5.3 Tổn hao bổ sung của động cơ khi làm việc với bộ biến tần

Các hài về điện áp và dòng điện trong động cơ cảm ứng lồng sóc được cấp nguồn qua bộ biến tần gây ra các tổn hao lõi sắt và tổn hao dây quấn  $I^2R$  bổ sung trong stato và rôto. Giá trị tổng của các tổn hao này về cơ bản không phụ thuộc vào tải. Các tổn hao bổ sung này giảm khi tăng tần suất đóng cắt của bộ biến tần.

Trong một số trường hợp bất lợi, tổn hao bổ sung trong động cơ gây ra do bộ biến tần có thể làm tăng tổn hao tổng của động cơ thêm 15 % đến 20 % so với tổn hao khi làm việc ở nguồn cung cấp hình sin.

Xem IEC 60034-17 và IEC 60034-25 để biết thêm chi tiết.

### 5.4 Động cơ có cấp hiệu suất cao hơn

Theo dự kiến, các công nghệ tiên tiến sẽ cho phép các nhà chế tạo thiết kế các động cơ có hiệu suất cao hơn IE3 với các kích thước về cơ (mặt bích, chiều cao trục, v.v...) tương thích với các động cơ hiện có có cấp hiệu suất thấp hơn (ví dụ các tiêu chuẩn EN 50347, NEMA MG1 và một số tiêu chuẩn khu vực khác). Các động cơ này thường đòi hỏi các bộ biến tần điện tử công suất để có thể làm việc.

Tổn hao trong rôto gần như được loại trừ khi sử dụng động cơ đồng bộ không có cuộn dây kích từ.

Phụ lục A của tiêu chuẩn này đưa ra cấp hiệu suất siêu đặc biệt IE4 mà chủ yếu nhằm vào các động cơ như vậy (mặc dù cấp hiệu suất IE4 không chỉ giới hạn ở các động cơ cụ thể).

Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM) và động cơ đồng bộ từ trở (RSM) đã được triển khai và ở mức độ nào đó đã có mặt trên thị trường. PMSM thường có một lượng mômen từ trở vốn có và RSM có thể có nam châm vĩnh cửu, do đó có thể tổ hợp với nhau.

Tùy thuộc vào lượng vật liệu nam châm sử dụng, PMSM có thể có hệ số công suất cao hơn động cơ cảm ứng do đó cải thiện hiệu suất trong mạng phân phối và trong bộ biến tần. Tuy nhiên các động cơ này đòi hỏi bộ biến tần và cảm biến vị trí rôto (bộ encoder) (trừ khi bộ biến tần sử dụng thuật toán điều khiển không cần encoder) để làm việc đúng.



Việc điều khiển động cơ đơn giản hơn với điện áp chuyển mạch chẵn có tần suất đóng cắt thấp cũng thường được sử dụng trong các động cơ cỡ nhỏ và/hoặc động cơ tốc độ cao (“động cơ một chiều không chổi than” hoặc động cơ chuyển mạch bằng điện tử (EC)). Điểm bất lợi chính của việc này là tổn hao bổ sung do điện áp và dòng điện hài ký sinh. Mức cải thiện hiệu suất của động cơ không đồng bộ kém hơn so với mức cải thiện hiệu suất của động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu điều khiển bằng điều chế độ rộng xung (PWM) hoặc của động cơ đồng bộ từ trở.

Một thiết kế động cơ đồng bộ khác là loại có cả nam châm vĩnh cửu và lồng sóc. Do đó, động cơ này có thể sử dụng cho khởi động trên lưới (động cơ đồng bộ, có nam châm vĩnh cửu, khởi động trên lưới, LSPM). Các động cơ này làm việc không nhất thiết cần có bộ biến tần. Tuy nhiên, tính năng khởi động của động cơ khá tồi với độ nhấp nhô của mômen, ồn và các hạn chế đáng kể về mômen tải và quán tính tải cho phép. Các động cơ này chỉ sử dụng cho một số ứng dụng nhất định mà không thể sử dụng như máy điện có công dụng chung.

CHÚ THÍCH: Dự kiến sẽ mở rộng phạm vi của tiêu chuẩn này và bổ sung vào Phụ lục A (như một phụ lục qui định) khi có nhiều kiến thức và kinh nghiệm hơn với động cơ đồng bộ trong các ứng dụng tiêu chuẩn.

### 5.5 Các biến động tổn hao trong động cơ

Tất cả các sản phẩm chế tạo đều chịu dung sai liên quan đến vật liệu và phương pháp chế tạo. Không bao giờ có hai sản phẩm làm việc hoàn toàn như nhau, ngay cả khi chúng có thiết kế giống nhau và được chế tạo trên cùng một dây chuyền lắp ráp tại cùng một thời điểm.

Thực tế này cũng đúng đối với động cơ điện. Dung sai của vật liệu, ví dụ như lá thép sử dụng để ghép lõi stato và rôto, sẽ làm thay đổi đặc tính từ và cuối cùng ảnh hưởng đến tổn hao lõi sắt và do đó ảnh hưởng đến hiệu suất của động cơ. Sử dụng động cơ thử nghiệm 7,5 kW làm ví dụ, việc tăng tổn hao lõi sắt 10 % (từ 300 W lên thành 330 W), nằm trong giới hạn dung sai của nhà cung cấp lá thép, sẽ làm tăng tổn hao tổng của động cơ từ 946 W lên thành 976 W và giảm hiệu suất từ 88,8 % (IE2) xuống còn 88,5 % (IE1).

Sự biến động này cũng xuất hiện do các hạn chế của quá trình chế tạo. Có những hạn chế về kinh tế liên quan đến các dung sai kích thước thực tế của các bộ phận của động cơ. Việc kết hợp các bộ phận ghép nối với nhau cũng góp phần vào sự thay đổi về kích thước, ví dụ kích thước của khe hở không khí, có thể gây ra sự thay đổi tổn hao tải bổ sung và do đó thay đổi hiệu suất động cơ.

Ngoài ra, độ không đảm bảo có thể gây ra do các quá trình chế tạo và các qui trình thử nghiệm.

Do đó, khi dự đoán hiệu suất của một động cơ cho trước, có thể đề nói hiệu suất danh định do nhà chế tạo xác định (giá trị này cần tương đương với hiệu suất trung bình của một tập hợp các động cơ). Hiệu suất danh định cũng phải cao hơn hoặc bằng hiệu suất danh nghĩa yêu cầu của cấp hiệu suất danh định (theo TCVN 6627-30 (IEC 60034-30)).

Hiệu suất thực ở tải danh định của một động cơ bất kỳ, khi làm việc ở điện áp và tần số danh định, có thể thấp hơn hiệu suất danh định nhưng không được thấp hơn hiệu suất danh định trừ đi dung sai hiệu

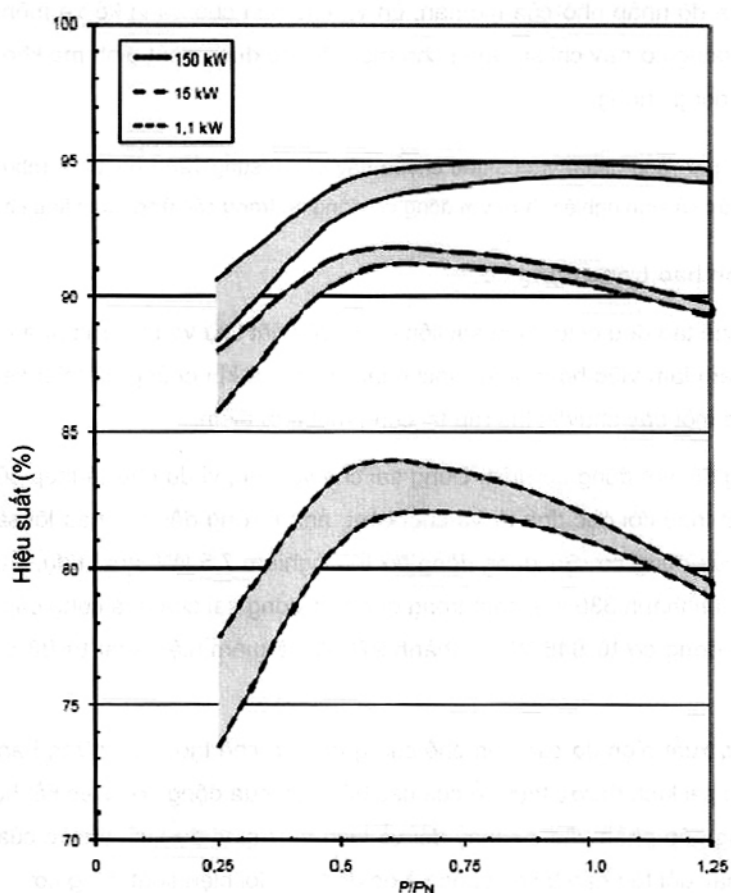
## TCVN 6627-31:2011

suất theo TCVN 6627-1 (IEC 60034-1). Đây là mức đạt được khi cả nguyên vật liệu và quá trình chế tạo đều ở phía bất lợi nhất trong các dung sai qui định của chúng.

Dung sai danh định cần được sử dụng khi tính lượng công suất cần thiết để cấp điện cho một số động cơ. Hiệu suất tối thiểu (hiệu suất danh định trừ đi dung sai) cho phép người sử dụng động cơ đảm bảo có được mức tính năng qui định.

### 5.6 Hiệu suất theo tải

Động cơ cảm ứng lồng sóc ba pha có hiệu suất khá ổn định trên một dải rộng các tải từng phần như thể hiện trên Hình 3.



**Hình 3 – Dải đường cong của hiệu suất điện hình theo theo mức tải đối với động cơ cảm ứng lồng sóc ba pha có dải công suất ra khác nhau (xấp xỉ 1,1 kW, 15 kW và 150 kW)**

Các dải hiệu suất cho trong hình này là điển hình đối với các động cơ 2 cực và 4 cực. Động cơ nhiều cực hơn sẽ có đặc tính khác.

Khi đã biết hiệu suất ở tải danh định và ở 3/4 tải, có thể sử dụng công thức sau để tính khá chính xác giá trị của hiệu suất theo tải khác bất kỳ:



$$v_L = \frac{\left(\frac{100}{\eta_{100}} - 1\right) - 0,75 \cdot \left(\frac{100}{\eta_{75}} - 1\right)}{0,4375}$$

$$v_0 = \left(\frac{100}{\eta_{100}} - 1\right) - v_L$$

$$\eta_p = \frac{100}{1 + \frac{v_0}{p} + v_L \cdot p}$$

trong đó

- $\eta_{100}$  là hiệu suất ở tải danh định, tính bằng phần trăm;
- $\eta_{75}$  là hiệu suất ở 3/4 tải, tính bằng phần trăm;
- $v_L, v_0$  là các kết quả trung gian;
- $p$  là công suất mong muốn (so với tải danh định, tức là từ 0...1...quá tải);
- $\eta_p$  hiệu suất tính được, tính bằng phần trăm

CHÚ THÍCH: Thuật toán này không nên áp dụng cho các tải nhỏ hơn 50 % hoặc lớn hơn 125 % tải danh định.

### 5.7 Phương pháp thử nghiệm hiệu suất

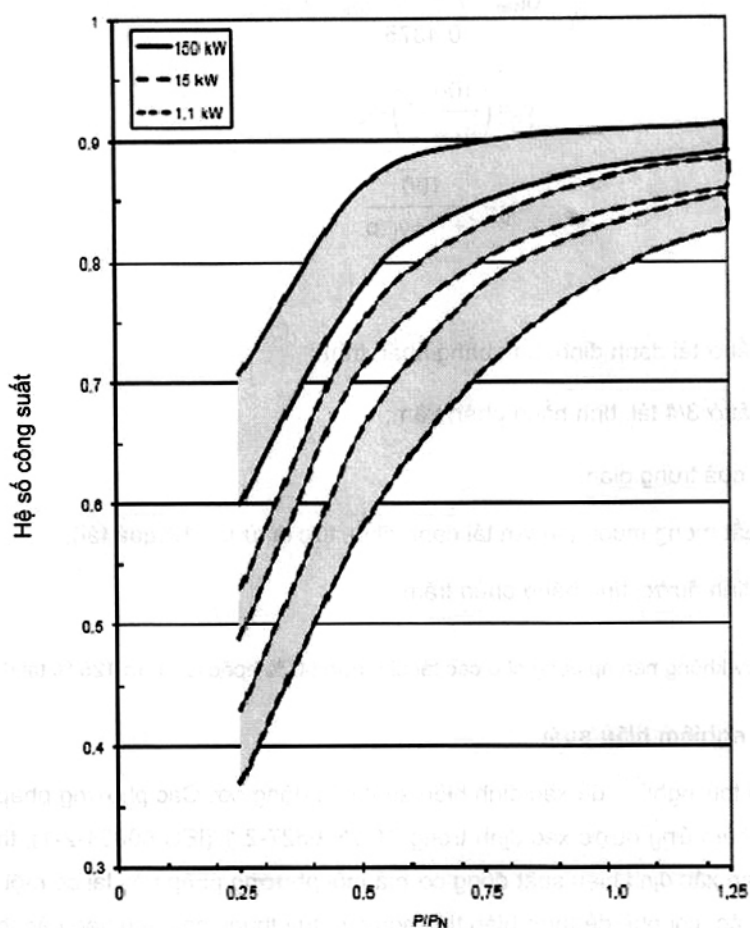
Có một số phương pháp thử nghiệm để xác định hiệu suất của động cơ. Các phương pháp tiêu chuẩn để thử nghiệm động cơ cảm ứng được xác định trong TCVN 6627-2-1 (IEC 60034-2-1), theo đó thừa nhận một số phương pháp xác định hiệu suất động cơ mà mỗi phương pháp này lại có một số ưu điểm nhất định như độ chính xác, chi phí, dễ thực hiện thử nghiệm, tùy thuộc chủ yếu vào các thông số đặc trưng của động cơ. Một số phương pháp trong TCVN 6627-2-1 (IEC 60034-2-1) hài hòa với các tiêu chuẩn quốc gia như CSA C390 và IEEE 112 Phần B.

Phương pháp tổn hao dư của TCVN 6627-2-1 (IEC 60034-2-1) là một qui trình tính toán xác định để tách các loại tổn hao khác nhau từ dữ liệu thô ban đầu và san bằng tổn hao bổ sung tải (tạp tán) bằng phân tích hồi qui tuyến tính. Phương pháp này có thể làm giảm ảnh hưởng của sai số do thực hiện các phép đo trong dải tải từ 25 % đến xấp xỉ 150 % của tải danh định. Phương pháp này cũng hiệu chỉnh nhiệt độ môi trường thử nghiệm về 25 °C để giảm thay đổi do các môi trường thử nghiệm khác nhau.

Thông lệ chung để có được dữ liệu thô ban đầu đối với dải công suất từ 0,75 kW đến 370 kW là thử nghiệm động cơ với máy điện mang tải và thiết bị đo mômen và đo cẩn thận công suất vào và công suất ra ở một số điểm tải để xác định các thành phần tổn hao và từ đó xác định hiệu suất.

Ngay cả khi sử dụng phương pháp thử nghiệm hiệu suất nhất quán và chính xác thì vẫn xuất hiện những sai lệch trong kết quả đối với cùng một động cơ, chủ yếu là do đặc tính của thiết bị thử nghiệm và thiết bị đo, và đối với những thử nghiệm không tự động thì do các yếu tố con người.

## 5.8 Hệ số công suất (xem Hình 4)



**Hình 4 – Dải đường cong của hệ số công suất điển hình theo mức tải đối với động cơ cảm ứng lồng sóc ba pha có dải công suất ra khác nhau (xấp xỉ 1,1 kW, 15 kW và 150 kW)**

Dải hệ số công suất cho trong hình này là điển hình cho các động cơ 2 cực và 4 cực. Các động cơ nhiều cực hơn sẽ có đặc tính khác.

Tổng phụ tải của động cơ trong một số công trình thường là yếu tố chính xác định hệ số công suất của hệ thống. Hệ số công suất thấp làm tăng tổn hao trong hệ thống phân phối. Các động cơ cảm ứng là nguyên nhân cố hữu gây ra hệ số công suất hệ thống chậm sau.

Hệ số công suất của động cơ cảm ứng giảm khi tải giảm.

Hệ số công suất ở tải danh định tăng khi tăng công suất danh định của động cơ. Một số động cơ cảm ứng cùng làm việc ở tải thấp có thể làm cho hệ thống điện có hệ số công suất thấp. Hệ số công suất của động cơ cảm ứng ở tốc độ thấp tải danh định sẽ thấp hơn đối với động cơ tốc độ cao.

Tăng điện áp một chút (ít hơn 10 %) so với điện áp danh định sẽ làm giảm hệ số công suất, và ngược lại việc giảm điện áp một chút (ít hơn 10 %) so với điện áp danh định sẽ cải thiện hệ số công suất của động cơ cảm ứng. Tuy nhiên, các đặc tính về tính năng khác có thể bị ảnh hưởng bất lợi do sự thay đổi điện áp này và nên cho động cơ làm việc ở điện áp và công suất danh định ghi trên tấm nhãn.

Phân tích hệ thống điện sẽ cho biết liệu có cần cải thiện hệ số công suất không và có cần sử dụng tụ điện, động cơ đồng bộ hoặc các biện pháp hiệu chỉnh khác không.

Khi sử dụng tụ điện hiệu chỉnh hệ số công suất để cải thiện hệ số công suất của hệ thống điện, các tụ điện này cần được chọn và sử dụng cẩn thận tránh các điều kiện làm việc không an toàn. Nên tham khảo ý kiến của nhà thiết kế hệ thống để có giá trị điện dung hiệu chỉnh đúng.

### 5.9 Phối hợp giữa động cơ và bộ biến tần

Việc có thêm bộ biến tần làm tăng đáng kể khả năng cải thiện hiệu suất năng lượng trong nhiều hệ thống truyền động điện. Chi phí bổ sung do có bộ biến tần (thường đắt hơn khi động cơ có hiệu suất cao hơn) và một số tổn hao bổ sung (tùy thuộc vào cỡ động cơ và thiết kế; thường là 2 % đến 5 % ở mômen danh nghĩa và tốc độ danh nghĩa và 10 % đến 30 % ở 25 % mômen và tốc độ danh nghĩa) đòi hỏi có phân tích cẩn thận ứng dụng này.

Nhóm ứng dụng đầu tiên là bơm, quạt và thiết bị tương tự có tải thay đổi, mômen tăng xấp xỉ theo bình phương của tốc độ quay của động cơ. Công suất điện vào của động cơ sẽ tăng theo lập phương của tốc độ khi thể tích lưu lượng trong ống dẫn kín chỉ được khống chế bằng van điều tiết hoặc van tiết lưu. Bộ truyền động thay đổi tốc độ có thể điều chỉnh công suất điện vào một cách trơn tru và liên tục đến thể tích khí yêu cầu và tổn hao được giảm tương ứng. Phương án điều khiển tải theo cách truyền thống với các động cơ nhiều tốc độ hoặc phối hợp nhiều động cơ làm việc song song cần được xem xét nếu chúng có thể thực hiện công việc với chi phí thấp hơn và tổn hao ít hơn. Lợi ích về chi phí của bộ truyền động thay đổi tốc độ là cao vì có thể nâng cao được hiệu suất năng lượng lên nhiều hơn.

Nhóm ứng dụng thứ hai là băng chuyền, thang cuốn, thiết bị nâng hạ và thiết bị tương tự trong đó mômen ít phụ thuộc vào tốc độ. Bộ truyền động thay đổi tốc độ có thể liên tục điều chỉnh tốc độ từ trạng thái gần như đứng yên đến tốc độ đầy đủ không theo cấp và do đó có thể giảm thiểu công suất cần thiết. Lợi ích về chi phí và hiệu suất nhỏ hơn so với nhóm ứng dụng đầu tiên vì thay đổi công suất vào là tuyến tính với tốc độ.

Nhóm ứng dụng thứ ba bao gồm các ứng dụng ít có sự thay đổi tải và tốc độ nhưng có thể có lợi từ bộ truyền động thay đổi tốc độ theo cách khác như khởi động mềm và dừng mềm hoặc yêu cầu mômen khởi động cao. Lợi ích chính không phải là việc cải thiện hiệu suất năng lượng mà là máy móc ít bị mài mòn. Có những giải pháp kỹ thuật khác để khởi động mềm có chi phí thấp hơn. Tuy nhiên, so với khởi động mềm bằng bộ truyền động thay đổi tốc độ thì các phương pháp này không tiết kiệm được năng lượng.

## TCVN 6627-31:2011

Trong một số ứng dụng, các động cơ có kích thước quá lớn và làm việc liên tục non tải (ví dụ 50 % hoặc nhỏ hơn). Mặc dù bộ biến tần có thể cải thiện được hiệu suất năng lượng bằng cách giảm điện áp vào động cơ thì việc giảm kích cỡ động cơ theo tải cần thiết sẽ hiệu quả hơn về mặt chi phí còn tiết kiệm được nhiều năng lượng hơn.

Nếu không sử dụng thêm các bộ lọc hình sin, động cơ làm việc với bộ truyền động thay đổi tốc độ sẽ phải chịu các đột biến điện áp cao hơn đáng kể so với điện áp lưới. Ngày nay, hầu hết các động cơ điện mới dùng trong công nghiệp sử dụng các điện áp cung cấp đến 500 V đều có hệ thống cách điện có thể chịu được tốt các điện áp này. Đối với các điện áp nguồn cao hơn, cần xem xét các động cơ phù hợp với IEC 60034-25.

Khi lắp thêm bộ biến tần cho các động cơ kiểu cũ đang sử dụng trong các ứng dụng hiện có, cần liên hệ với nhà chế tạo. Ngoài ra, điều quan trọng là phải xác định tốc độ làm việc cao nhất an toàn của động cơ nếu tần số lưới (50 Hz hoặc 60 Hz) sẽ bị vượt quá đáng kể khi có bộ biến tần. Các thông tin này thường có sẵn trong catalo hoặc tài liệu (sổ tay) của sản phẩm (xem thêm TCVN 6627-1 (IEC 60034-1) và IEC 60034-17).

Bộ truyền động thay đổi tốc độ phải được chọn và có cấu hình dựa trên hiểu biết rõ ràng về các điều kiện làm việc điển hình:

- mômen và tốc độ mà máy được truyền động yêu cầu;
- mức giảm công suất nếu có của động cơ do phương pháp làm mát (tự thông gió hoặc thông gió cưỡng bức).

Điều quan trọng là phải phối hợp chặt chẽ tính năng của bộ truyền động thay đổi tốc độ với profin tải yêu cầu và đặc tính điện của động cơ để đạt được lợi ích đầy đủ.

### 5.10 Động cơ làm việc ở 50 Hz và 60 Hz

Vì ứng dụng và cỡ động cơ trên thực tế liên quan đến mômen hơn là đến công suất nên theo lý thuyết công suất đầu ra tăng tuyến tính theo tốc độ, tức là 20 % từ 50 Hz đến 60 Hz.

Tổn hao dây quấn  $I^2R$  đặc biệt chiếm ưu thế trong các động cơ cảm ứng cỡ nhỏ và trung bình. Các tổn hao này cơ bản giữ không đổi ở cả 50 Hz và 60 Hz chừng nào mà mômen được giữ không đổi. Mặc dù các tổn hao gió, tổn hao ma sát và tổn hao lõi sắt tăng theo tần số nhưng các tổn hao này thường đóng vai trò không lớn trong động cơ có bốn cực hoặc nhiều hơn. Do đó, ở 60 Hz, tổn hao tổng trên thực tế tăng ít hơn 20 % giá trị tăng của công suất ra so với ở 50 Hz. Do đó về khía cạnh tương đối (công suất ra theo công suất vào) thì hiệu suất được cải thiện.

Bảng 2 tổng hợp nội dung nêu trên.

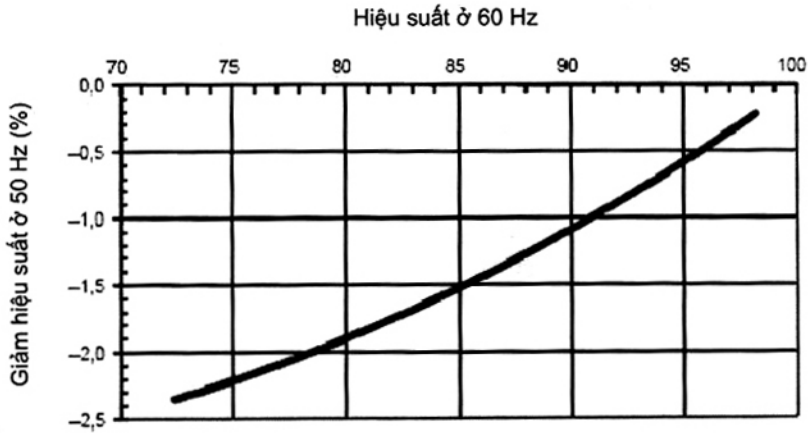
**Bảng 2 – Ví dụ về tính toán hiệu suất của động cơ khi làm việc ở 50 Hz và 60 Hz  
với mô men giống nhau, sử dụng động cơ 50 Hz làm cơ sở**

	50 Hz	60 Hz
Mômen	100 %	100 %
Tốc độ	100 %	120 %
Công suất ra	100 %	120 %
Tổn hao tính bằng phần trăm của công suất ra		
Tổn hao I <sup>2</sup> R	20 %	20 %
Tổn hao ma sát và gió	4 %	$4 \% \times (1,2)^{1,5} = 5,25 \%$
Tổn hao lõi sắt	4 %	$4 \% \times (1,2)^{1,5} = 5,25 \%$
Tổn hao tổng	28 %	30,5 %
Công suất vào	$100 + 28 = 128 \%$	$120 + 30,5 = 150,5 \%$
Hiệu suất	$100/128 = 78,1 \%$	$120/150,5 = 79,7 \%$

Trên thực tế, cả công suất ra ở 60 Hz và 50 Hz đều phù hợp với các mức công suất tiêu chuẩn theo TCVN 7862 (IEC 60072). Do đó, thông số đặc trưng về công suất động cơ tăng 20 % là điều không phải lúc nào cũng thực hiện được. Tuy nhiên vẫn có ưu điểm chung của các động cơ 60 Hz nếu động cơ được thiết kế tối ưu đối với tần số nguồn tương ứng mà không phải chỉ là sự thay đổi thông số đặc trưng của động cơ.

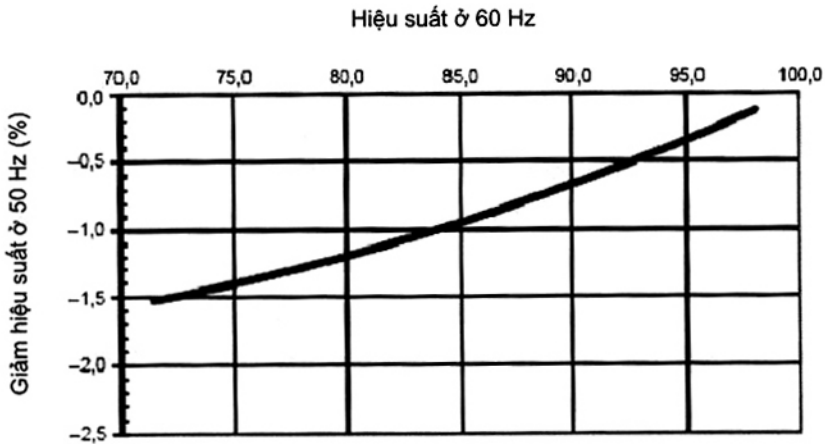
Chênh lệch hiệu suất động cơ giữa 50 Hz và 60 Hz cũng thay đổi theo số cực và kích cỡ vật lý của động cơ. Nhìn chung, hiệu suất ở 60 Hz của động cơ cảm ứng lồng sóc ba pha trong dải công suất ra từ 0,75 kW đến 370 kW lớn hơn khoảng 2,5 đến 0,5 phần trăm, một cách tương ứng, so với hiệu suất ở 50 Hz. Chỉ có động cơ 2 cực cỡ lớn mới có thể có hiệu suất thấp hơn một chút ở 60 Hz do tổn hao ma sát và tổn hao gió của chúng lớn hơn.

Khi động cơ có thông số đặc trưng để làm việc ở 50 Hz hoặc 60 Hz với từ thông gần như nhau và mômen gần giống nhau (tức là công suất ra tăng 20 % ở 60 Hz, ví dụ 400 V/50 Hz/3,0 kW và 460 V/60 Hz/3,7 kW), hiệu suất ở 60 Hz nhìn chung cao hơn ở 50 Hz (xem Hình 5).



**Hình 5 – Giá trị giảm điển hình của hiệu suất năng lượng tính bằng phần trăm đối với các động cơ hạ áp 4 cực giữa 50 Hz và 60 Hz khi so sánh ở cùng mô men (công suất ra ở 60 Hz tăng 20 %)**

Một cách khác, khi động cơ có thông số đặc trưng để làm việc ở 50 Hz hoặc 60 Hz với từ thông gần như nhau và công suất ra gần giống nhau (tức là mômen giảm 20 % ở 60 Hz, ví dụ 400 V/50 Hz/5,5 kW và 460 V/60 Hz/5,5 kW), hiệu suất ở 60 Hz luôn cao hơn ở 50 Hz vì việc sử dụng động cơ giảm xuống (xem Hình 6).



**Hình 6 – Giá trị giảm điển hình của hiệu suất năng lượng tính bằng phần trăm đối với các động cơ hạ áp 4 cực giữa 50 Hz và 60 Hz khi so sánh ở cùng công suất ra (mômen ở 60 Hz giảm 20 %)**

Vì các lý do này, đường cong giới hạn đề cập trong TCVN 6627-30 (IEC 60034-30) đối với các cấp hiệu suất khác nhau (IE1, IE2, IE3) của động cơ ở 60 Hz nhìn chung cao hơn động cơ ở 50 Hz.

### 5.11 Động cơ có thông số đặc trưng theo các điện áp khác nhau hoặc dải điện áp

Sự thay đổi hiệu suất theo một hàm của điện áp là đặc tính vốn có của động cơ. Động cơ làm việc ở điện áp khác đáng kể so với điện áp danh định sẽ dẫn đến thay đổi hiệu suất của động cơ và mức phát nhiệt.

Thông thường hiệu suất của các động cơ cỡ nhỏ chịu ảnh hưởng của sự thay đổi điện áp nhiều hơn so với các động cơ cỡ lớn.

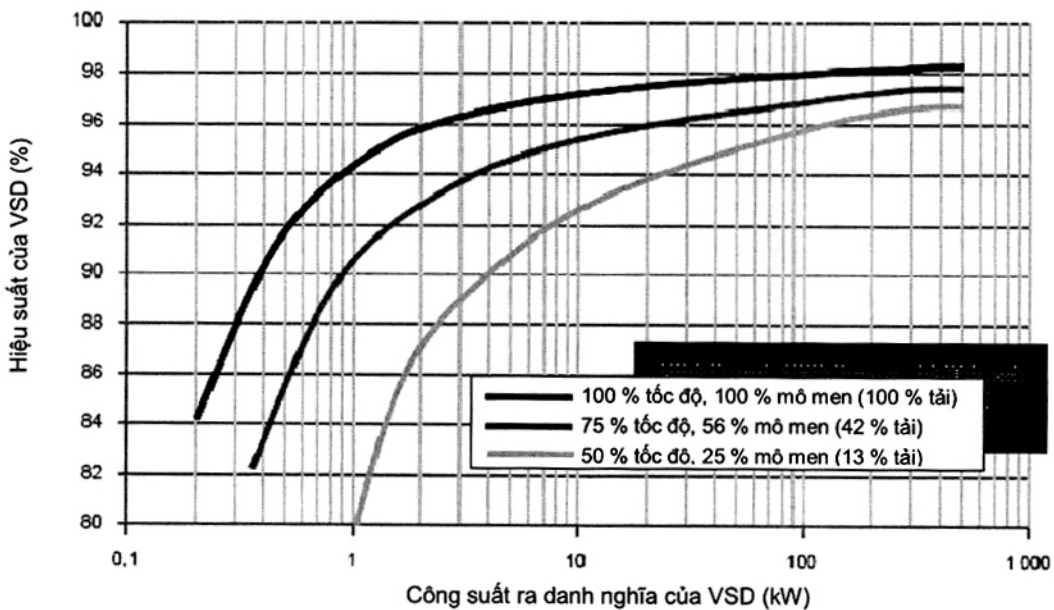
### 5.12 Động cơ có thông số đặc trưng để làm việc ở các tần số khác 50 Hz/60 Hz

Các động cơ có thông số đặc trưng để làm việc ở các tần số khác tần số lưới (50 Hz hoặc 60 Hz) không được phân loại theo cấp hiệu suất trong TCVN 6627-30 (IEC 60034-30).

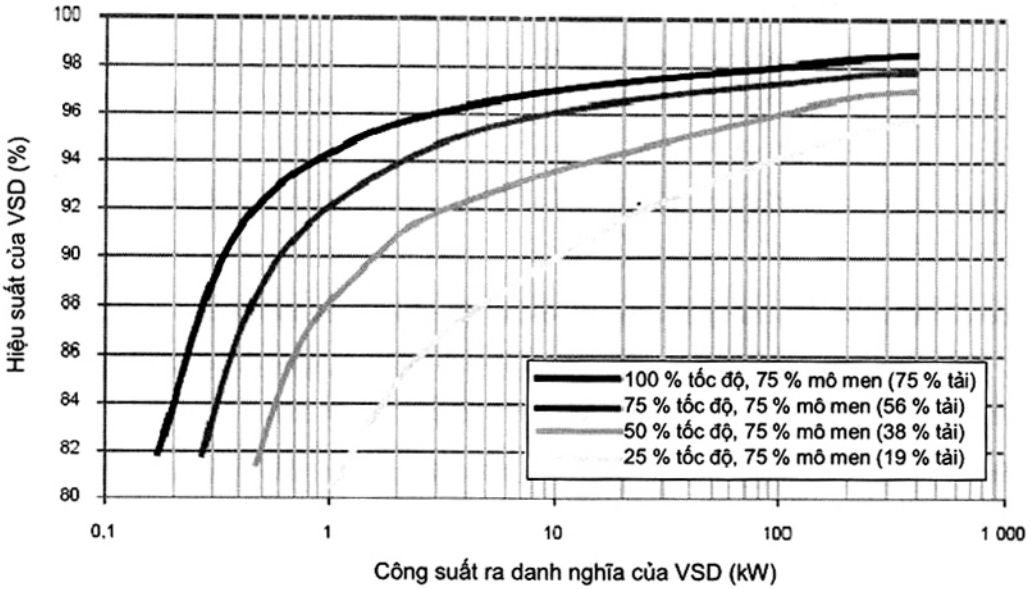
Cấp hiệu suất IE4 như định nghĩa trong Phụ lục A của tiêu chuẩn này là cấp hiệu suất duy nhất áp dụng cho các động cơ này.

### 5.13 Hiệu suất của bộ biến tần

Bộ biến tần nhìn chung có mức hiệu suất năng lượng cao. Cũng như đối với động cơ, hiệu suất bộ biến tần giảm khi làm việc không đầy tải (xem Hình 7).



**Hình 7 – Hiệu suất điển hình của bộ biến tần nguồn áp ba pha gián tiếp có đầu vào thụ động đối với giá trị phần trăm tải điển hình của bơm, quạt và máy nén**



**Hình 8 – Hiệu suất điển hình của bộ biến tần nguồn áp ba pha gián tiếp có đầu vào thụ động đối với giá trị phần trăm tải điển hình có mômen không đổi**

Bảng 3 đưa ra các thành phần tổn hao của hầu hết các bộ biến tần đối với kiểu biến tần phổ biến nhất trong công nghiệp (bộ biến tần điện áp thấp gián tiếp kiểu nguồn áp có bộ chỉnh lưu điốt ba pha không điều khiển là bộ biến tần phía lưới) trong dải công suất ra từ 1 kW đến 100 kW:

**Bảng 3 – Phân bố tổn hao đối với các bộ biến tần nguồn áp điện áp thấp**

	Tỷ lệ phần trăm điển hình của tổn hao bộ biến tần đầu vào thụ động	Yếu tố ảnh hưởng đến các tổn hao này
Tổn hao do đóng cắt (tầng đầu ra)	30 đến 50	Dòng điện qua động cơ và tần suất đóng cắt
Tổn hao do chỉnh lưu trực tiếp từ lưới	20 đến 25	Dòng điện trên lưới (gần như tỷ lệ với công suất động cơ)
Tổn hao phía trước (tầng đầu ra)	15 đến 20	Dòng điện qua động cơ
Tổn hao trên mạch điện điều khiển bên trong (ví dụ điều khiển, nguồn nội, hiển thị, bàn phím, truyền thông bus, đầu vào/đầu ra số và tương tự)	5 đến 20	Gần như không đổi
Tổn hao do đóng cắt (bộ biến tần trên lưới/chỉ bộ biến tần đầu vào chủ động)	–	Dòng điện trên lưới và tần suất đóng cắt (gần như tỷ lệ với công suất động cơ)
Tổn hao kết hợp (bộ biến tần trên lưới/chỉ bộ biến tần đầu vào chủ động)	–	Dòng điện trên lưới (gần như tỷ lệ với công suất động cơ)



Giảm hiệu suất của bộ biến tần có thể làm giảm điện áp ra cho động cơ. Điều này có thể làm cho động cơ không đạt đến tốc độ tối đa và/hoặc buộc phải làm việc với trường từ yếu hơn từ đó sẽ làm giảm hiệu suất động cơ.

#### 5.14 Hệ số công suất của biến tần

Hệ số công suất của biến tần liên kết điện một chiều chỉ phụ thuộc vào thiết kế của bộ chỉnh lưu đầu vào biến tần. Thiết kế động cơ hoặc tải của động cơ không ảnh hưởng đến hệ số công suất của biến tần.

Do thành phần hài của dòng điện đầu vào của bộ biến tần, hệ số công suất tổng  $\lambda$  phải được tính bằng:

$$\text{hệ số công suất } \lambda = \frac{|\text{công suất tác dụng } P|}{\text{công suất biểu kiến } S}$$

Hệ số công suất có thể được điều chỉnh gần đến giá trị đơn vị bằng cách sử dụng biến tần phía lưới chủ động (biến tần đầu vào chủ động).

Ví dụ điển hình dưới đây có thể áp dụng cho các kiểu biến tần phổ biến dùng cho động cơ hạ áp (bộ biến tần gián tiếp kiểu nguồn áp có bộ chỉnh lưu điốt một pha hoặc ba pha không điều chỉnh là bộ biến tần phía lưới):

- bộ biến tần 1 pha:  $\lambda \approx 0,58$  (đối với  $P_N \approx 0,5$  kW)
- bộ biến tần 3 pha:  $\lambda \approx 0,64$  (đối với  $P_N \approx 2$  kW)
- bộ biến tần 3 pha có cuộn cảm trên lưới:  $\lambda \approx 0,92$  (đối với  $P_N \approx 2$  kW)
- bộ biến tần 3 pha có liên kết điện một chiều là chính (tụ điện một chiều cỡ nhỏ)  $\lambda \approx 0,94$  (đối với  $P_N \approx 1 \dots 10$  kW)

Vì bộ biến tần chỉ cải thiện hệ số công suất phía lưới nên hiệu quả nhất về năng lượng là lắp đặt bộ biến tần càng sát với động cơ càng tốt (hệ thống lắp đặt điện phân cấp).

## 6 Môi trường

### 6.1 Tính năng khởi động

Động cơ cảm ứng lồng sóc hiệu suất năng lượng thường được chế tạo bằng với nhiều vật liệu tác dụng hơn, tức là lõi dài hơn và/hoặc đường kính lõi lớn hơn để đạt được hiệu suất cao hơn. Vì các lý do này, tính năng khởi động của động cơ hiệu suất năng lượng khác đôi chút so với động cơ có hiệu suất năng lượng thấp hơn.

Tính trung bình, dòng điện khóa cứng rôto sẽ tăng từ 10 % đến 15 % đối với động cơ của một cấp hiệu suất năng lượng so với động cơ của cấp hiệu suất năng lượng cao hơn tiếp theo với cùng công suất ra. Sự chênh lệch này phụ thuộc vào nguyên tắc kết cấu của động cơ và cần tham vấn nhà chế tạo khi

## **TCVN 6627-31:2011**

thay thế động cơ của hệ thống lắp đặt hiện có. Động cơ có rôto thanh dẫn bằng đồng thường có dòng điện khóa cứng rôto cao hơn so với động cơ có rôto thanh dẫn bằng nhôm. Cần đảm bảo rằng thiết bị điều khiển bảo vệ có kích cỡ và được lắp đặt đúng. Xem thêm TCVN 6627-12 (IEC 60034-12).

Thông thường, mômen khởi động trung bình (xem TCVN 6627-12 (IEC 60034-12)) của động cơ hiệu suất năng lượng cũng tăng khoảng 10 % đến 20 % trên mỗi cấp hiệu suất của động cơ có cùng công suất ra danh định.

Động cơ có rôto thanh dẫn bằng đồng thường có mômen khởi động nhỏ hơn động cơ có rôto thanh dẫn bằng nhôm.

Nhà chế tạo phải đảm bảo đáp ứng các đặc tính của tính năng khởi động bằng biện pháp thiết kế thích hợp như xác định trong TCVN 6627-12 (IEC 60034-12) (cụ thể là thiết kế N).

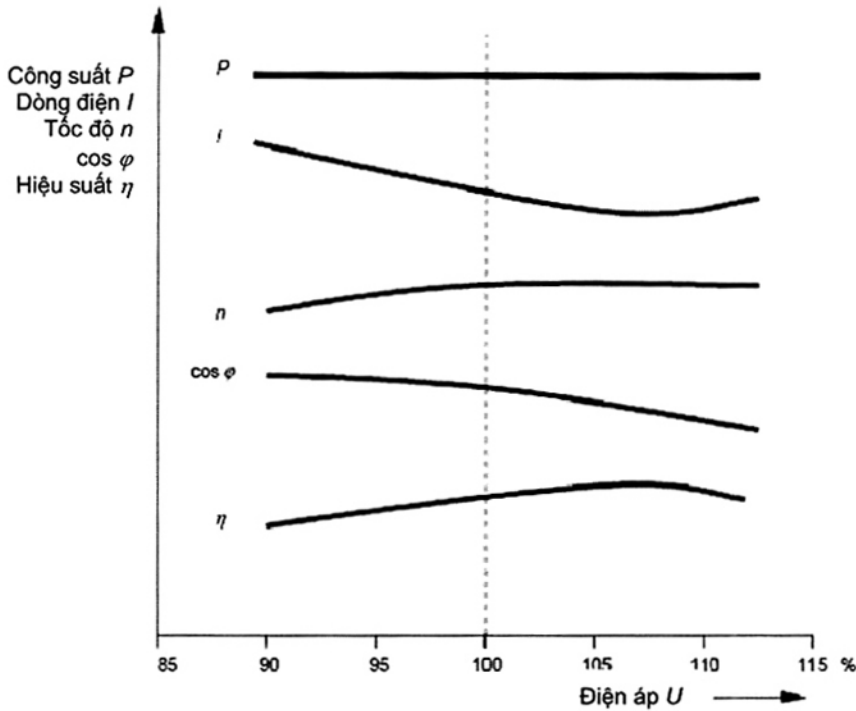
### **6.2 Tốc độ làm việc và hệ số trượt**

Nhìn chung, động cơ có hiệu suất cao hơn có tốc độ làm việc cao hơn, tức là hệ số trượt giảm so với động cơ có hiệu suất thấp hơn. Tính trung bình, hệ số trượt sẽ giảm khoảng 20 % đến 30 % so với cấp hiệu suất năng lượng cao hơn tiếp theo đối với động cơ có cùng công suất ra danh định.

Động cơ có rôto thanh dẫn bằng đồng thường có hệ số trượt nhỏ hơn và tốc độ làm việc lớn hơn so với động cơ có rôto thanh dẫn bằng nhôm.

### **6.3 Ảnh hưởng của chất lượng điện năng và sự thay đổi điện áp và tần số**

Làm việc với các điều kiện khác với các điều kiện danh định về điện áp và tần số có thể làm giảm cả hiệu suất và hệ số công suất và có thể ảnh hưởng bất lợi đến đặc tính của các tính năng khác. Điều này cũng đúng khi vận hành động cơ ở điện áp không phải sóng hình sin. Ảnh hưởng của sự thay đổi về điện áp nguồn, dạng sóng hoặc tần số lên hiệu suất của động cơ và đặc tính hệ số công suất phụ thuộc vào thiết kế của từng động cơ (xem Hình 9).



**Hình 9 – Thay đổi điển hình về dòng điện, tốc độ, hệ số công suất và hiệu suất theo điện áp khi giữ nguyên công suất ra**

Khi thay đổi điện áp và tần số cho phép trong quá trình làm việc, xem TCVN 6627-1 (IEC 60034-1).

#### 6.4 Ảnh hưởng của mất cân bằng điện áp

Điện áp cân bằng của nguồn điện ba pha cung cấp cho động cơ là thiết yếu để hệ thống làm việc hiệu quả. Ví dụ, điện áp mất cân bằng 3,5 % có thể làm tăng tổn hao của động cơ xấp xỉ 20 %. Vì lý do này, các tải một pha được lấy điện từ nguồn ba pha cần được phân bổ cẩn thận để sự mất cân bằng điện áp ở các đầu nối của động cơ được giữ ở mức thấp nhất có thể.

Xem IEC 60034-26 để biết thêm chi tiết.

#### 6.5 Ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường

Hiệu suất danh định của động cơ luôn được cho với một nhiệt độ môi trường chuẩn tiêu chuẩn ở 25 °C (xem TCVN 6627-2-1 (IEC 60034-2-1)). Làm việc ở nhiệt độ môi trường thấp hơn sẽ làm tăng hiệu suất, làm việc ở nhiệt độ môi trường cao hơn sẽ làm giảm hiệu suất năng lượng.

## **7 Các ứng dụng**

### **7.1 Qui định chung**

Công suất cơ đầu ra của động cơ tiêu chuẩn ở một cỡ máy cho trước chưa được tiêu chuẩn hóa quốc tế. Tuy nhiên, đã có các tiêu chuẩn khu vực (ví dụ EN 50347 và NEMA MG1) và đã được thừa nhận rộng rãi. Do đó, sẽ là có lợi cho việc thay thế các động cơ điện tiêu chuẩn trong các ứng dụng hiện có nếu như có các động cơ hiệu suất năng lượng với các cỡ máy và công suất ra tương tự mà không đòi hỏi cải tạo nhiều các thiết bị được truyền động.

Khi thiết bị được truyền động bằng động cơ điện đang sinh công có ích ở mức tương đối không đổi và liên tục thì mối quan tâm chủ yếu khi chọn động cơ là hiệu suất ở tải danh định. Tuy nhiên, nhiều ứng dụng có bản chất chu kỳ. Trong các trường hợp đó, có thể sử dụng kỹ thuật ứng dụng cụ thể để đạt được sự tiết kiệm năng lượng đáng kể.

Các ứng dụng khác đòi hỏi mức hấp thụ năng lượng gián đoạn hoặc liên tục. Thêm vào đó, có những kỹ thuật ứng dụng sẽ thu hồi một tỷ lệ phần trăm đáng kể năng lượng mà nếu không sẽ bị lãng phí.

Dưới đây là một số trường hợp minh họa công nghệ có sẵn cho người sử dụng. Nên tham vấn nhà chế tạo động cơ để xác định giải pháp hiệu quả nhất.

### **7.2 Tiết kiệm năng lượng bằng bộ điều khiển tốc độ (bộ truyền động thay đổi tốc độ, VSD)**

Trong nhiều ứng dụng, có thể tiết kiệm nhiều năng lượng nhất bằng cách thay đổi tốc độ của động cơ theo nhu cầu tải của ứng dụng. Điều này thường được thực hiện bằng cách sử dụng bộ truyền động thay đổi tốc độ (VSD).

Tổn hao bổ sung trong bộ biến tần có thể dễ dàng được bù lại bằng việc cải thiện hiệu suất tổng của ứng dụng.

Nhiều ứng dụng bơm và quạt hiện nay bao gồm việc điều khiển lưu lượng hoặc áp suất bằng van tiết lưu và van rẽ nhánh. Van tiết lưu và van rẽ nhánh trên thực tế là các cơ cấu điều chỉnh song song hoặc nối tiếp để thực hiện chức năng của nó bằng cách phân tán chênh lệch giữa năng lượng cung cấp từ nguồn và năng lượng tiêu thụ cần thiết.

Tổn hao này có thể giảm đáng kể bằng khống chế tốc độ lưu lượng hoặc áp suất bằng cách điều chỉnh tốc độ bơm hoặc quạt sử dụng bộ truyền động thay đổi tốc độ.

### **7.3 Chọn cỡ đúng của động cơ**

Động cơ hiệu suất năng lượng thường đặc biệt có ích trong các ứng dụng có số giờ làm việc nhiều ở tải lớn hơn hoặc bằng 3/4 tải đầy đủ.

Để tránh đáng kể số giờ làm việc với các tải nhỏ hơn 50 % mà sẽ gây ra hiệu suất thấp hơn, hệ thống cần có cỡ phù hợp với phụ tải đỉnh và mômen khởi động yêu cầu.

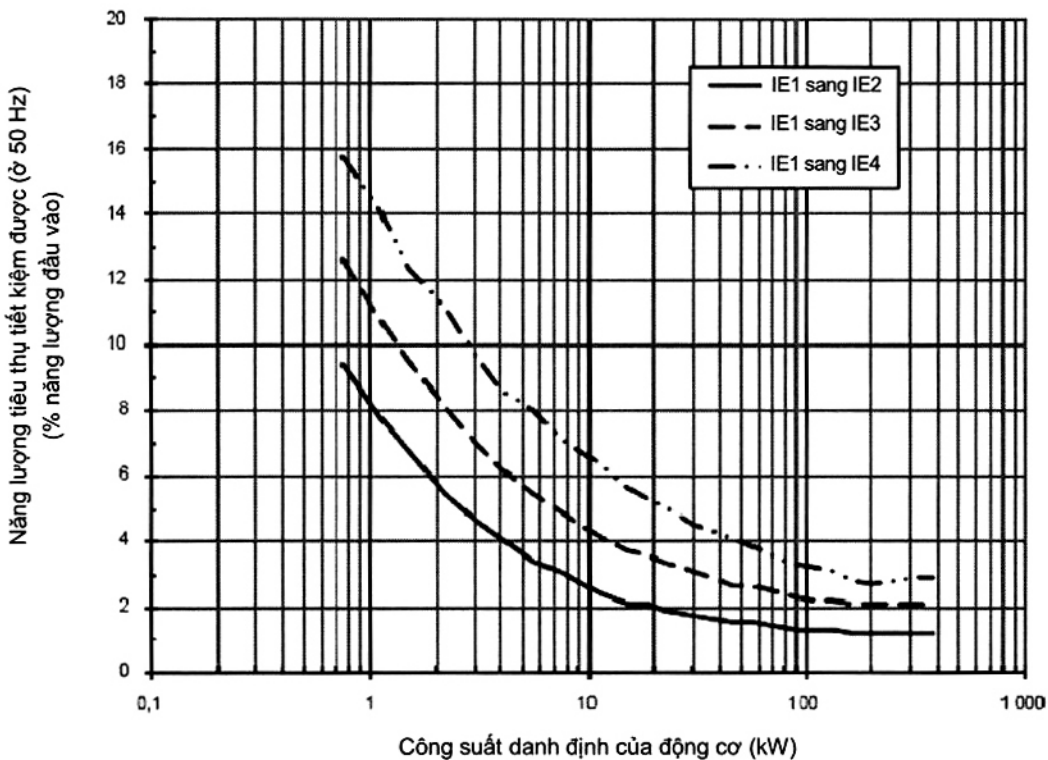
Do sử dụng động cơ có hiệu suất cao hơn ở nhiệt độ thấp, nên khả năng quá tải của chúng thường cao hơn so với các động cơ tiêu chuẩn. Do đó, hiếm khi yêu cầu động cơ có cỡ lớn hơn đối với các nhu cầu công suất đỉnh không thường xuyên và chắc chắn sẽ không kinh tế.

Khi dự tính thay động cơ tiêu chuẩn bằng động cơ hiệu suất cao trong các ứng dụng hiện có, cần đánh giá đúng nhu cầu công suất và cỡ động cơ.

#### 7.4 Ứng dụng có chế độ làm việc liên tục

Khi động cơ chuyển từ một cấp hiệu suất năng lượng sang cấp hiệu suất cao hơn liền kề thì năng lượng có thể tiết kiệm do việc giảm tổn hao từ 15 % đến 20 % (xem Hình 10). Thời gian hoàn vốn của chi phí đầu tư thêm liên quan đến các động cơ hiệu suất cao và hiệu suất đặc biệt có thể dễ dàng tính được bằng hiệu suất động cơ tổng thể và chi phí năng lượng.

Sơ đồ dưới đây minh họa năng lượng tiết kiệm, tính bằng phần trăm, của điện năng tiêu thụ của động cơ liên quan đến công suất ra danh định của động cơ khi nâng cấp từ cấp IE thấp hơn lên cấp IE cao hơn.



**Hình 10 – Năng lượng có thể tiết kiệm được khi nâng cao hiệu suất đối với động cơ chạy ở tải danh định**

**7.5 Ứng dụng liên quan đến khoảng thời gian làm việc ở tải nhẹ kéo dài**

Một số phương pháp đã được đề xuất để giảm điện áp cấp cho động cơ đáp ứng theo đặt vào, với mục đích nhằm giảm tổn hao từ hóa trong các khoảng thời gian không yêu cầu mômen đầy tải của động cơ. Thiết bị thường được sử dụng là bộ điều khiển hệ số công suất. Bộ điều khiển hệ số công suất là thiết bị điều chỉnh điện áp đặt vào động cơ đến xấp xỉ hệ số công suất đặt trước.

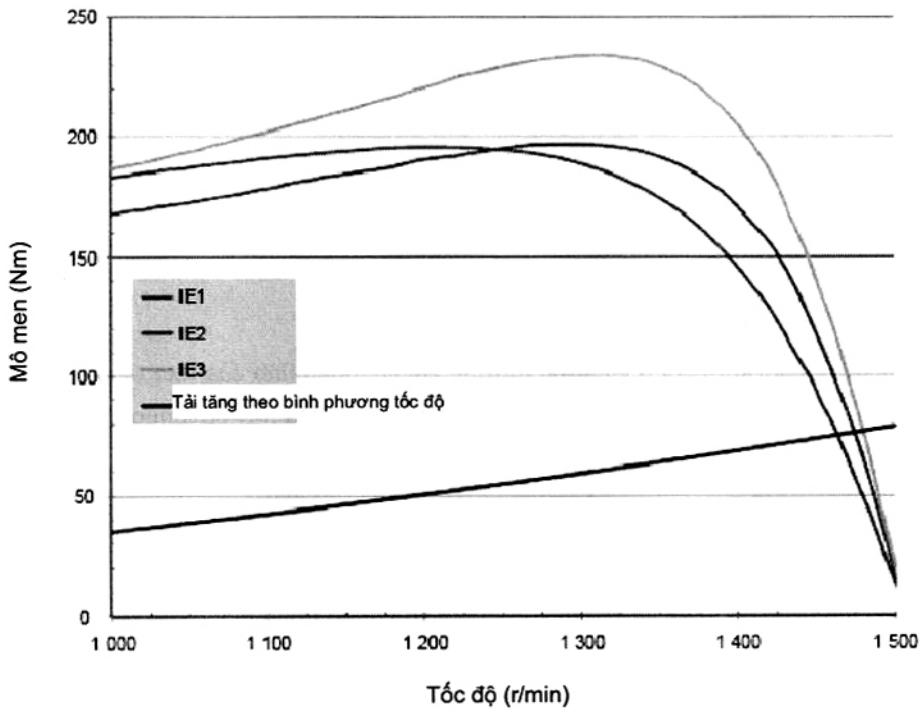
Bộ điều khiển hệ số công suất có thể, ví dụ, có ích khi sử dụng với các động cơ có công suất danh định nhỏ hơn 3 kW làm việc trong khoảng thời gian tải nhẹ kéo dài trong đó tổn hao từ hóa chiếm tỷ lệ tương đối cao so với tổng tổn hao. Phải cẩn thận khi sử dụng các bộ điều khiển này. Việc tiết kiệm năng lượng chỉ đạt được khi động cơ được điều khiển vận hành ở khoảng thời gian tải nhẹ kéo dài.

Cần đặc biệt thận trọng khi xem xét việc sử dụng các bộ điều khiển hệ số công suất với các động cơ có công suất danh định lớn hơn 3 kW. Động cơ 7,5 kW thường có tổn hao không tải vào cỡ 4 % hoặc 5 % công suất ra danh định. Trong dải kích cỡ này, tổn hao từ hóa có thể giảm thiểu được có thể không bằng với giá trị tổn hao bổ sung do méo dạng sóng điện áp do bộ điều khiển hệ số công suất gây ra.

**7.6 Ứng dụng liên quan đến tải vượt tốc**

Tải vượt tốc thường gây ra tiêu tốn năng lượng nếu sử dụng một số dạng hãm tiêu tán. Ví dụ về các tải vượt tốc gồm: giảm tốc độ của tải có quán tính lớn, bàn thử nghiệm hấp thụ, tải nhà cót, dưng xử lý mạng và thang máy đi xuống. Trong các trường hợp này, có thể tiết kiệm năng lượng bằng cách sử dụng các thiết bị tái sinh.

### 7.7 Ứng dụng có mô men tải tăng theo tốc độ (bơm, quạt, máy nén, v.v...)



**Hình 11 – Đường cong mô men điển hình theo tốc độ đối với động cơ cảm ứng lồng sóc, ba pha, 4 cực, công suất 11 kW và đường cong tải theo tốc độ đối với các tải tăng theo bình phương tốc độ**

Theo qui luật chung, động cơ cảm ứng lồng sóc hiệu suất cao có hệ số trượt thấp hơn (xem Bảng 4), tức là tốc độ quay cao hơn so với động cơ có hiệu suất thấp hơn. Khi mômen của ứng dụng này là hàm của bình phương tốc độ, giống như bơm, quạt, máy nén, v.v... thì việc tăng tốc độ sẽ dẫn đến tăng công suất ra (mômen) mà trong một số trường hợp có thể làm giảm lợi ích từ việc cải thiện hiệu suất năng lượng (xem Hình 11).

**Bảng 4 – Ví dụ về việc thay đổi hiệu suất, tốc độ và mô men theo cấp hiệu suất năng lượng của động cơ ba pha, công suất 11 kW ở tần số 50 Hz trong cùng một ứng dụng**

	Hiệu suất, eff %	Tốc độ, n r/min	Mô men, T Nm	Công suất ra, P <sub>out</sub> kW	Công suất vào, P <sub>in</sub> kW
IE1	87,6	1464	75,4	11,559	13,195
IE2	89,8	1474	76,4	11,792	13,131
IE3	91,4	1480	77,1	11,948	13,073

Do đó, trong một số ứng dụng, khi động cơ hiệu suất thấp hơn được thay bằng động cơ hiệu suất cao hơn thì công suất vào không giảm đến mức như dự kiến khi so sánh hiệu suất của hai động cơ.

## **TCVN 6627-31:2011**

Trong một số trường hợp, công suất vào của động cơ hiệu suất năng lượng có thể thực sự tăng khi so với động cơ có hiệu suất thấp hơn.

### **7.8 Ứng dụng liên quan đến khởi động, dừng và/hoặc hãm cơ thường xuyên**

Các thiết kế động cơ hiệu suất năng lượng thường làm giảm tổn hao  $I^2R$  bằng cách giảm ứng dụng, tức là bằng cách tăng cỡ động cơ, và/hoặc bằng cách cải thiện vật liệu dây dẫn trong rôto (ví dụ thay nhôm đúc bằng đồng đúc).

Tuy nhiên, cả hai khái niệm đều dẫn đến việc tăng quán tính rôto khi so sánh động cơ hiệu suất năng lượng với động cơ hiệu suất năng lượng thấp hơn có cùng công suất ra.

Trong các ứng dụng khi đòi hỏi khởi động và dừng thường xuyên, quán tính của rôto tăng sẽ làm tăng thời gian khởi động và công suất tiêu thụ trong quá trình khởi động. Điều này sẽ làm giảm số lần khởi động cho phép trong một giờ do đó có thể hạn chế công suất của ứng dụng.

Ngoài ra, khi thực hiện hãm bằng hệ thống hãm cơ, cả việc mài mòn đĩa hãm và thời gian hãm đều tăng lên đối với các động cơ có quán tính rôto cao hơn.

Tổn hao khởi động có thể giảm đáng kể và số lần khởi động cho phép trong một giờ có thể tăng lên khi sử dụng bộ biến tần để khởi động động cơ thay vì khởi động trên lưới. Tuy nhiên nhược điểm chung của các động cơ hiệu suất năng lượng trong các ứng dụng này vẫn không khắc phục được.

CHÚ THÍCH: Khởi động mềm sẽ làm giảm mômen khởi động nhưng sẽ không giảm được tổn hao cũng như không cải thiện được hiệu suất.

### **7.9 Ứng dụng liên quan đến môi trường khí hoặc bụi dễ cháy nổ**

Có một số hạn chế về thiết kế đối với động cơ điện sử dụng trong môi trường khí và bụi dễ cháy nổ.

Động cơ có vỏ bọc chịu cháy ("d") (theo IEC 60079-1) hoặc kiểu bảo vệ "n" (theo IEC 60079-15) thường không bị ảnh hưởng.

Động cơ có cấp an toàn cao ("e") (theo IEC 60079-7) có thể bị hạn chế bởi thời gian  $t_E$ , khe hở không khí, dòng điện khởi động, v.v... Mức hiệu suất năng lượng và cấp hiệu suất năng lượng của các động cơ này có thể bị giảm.

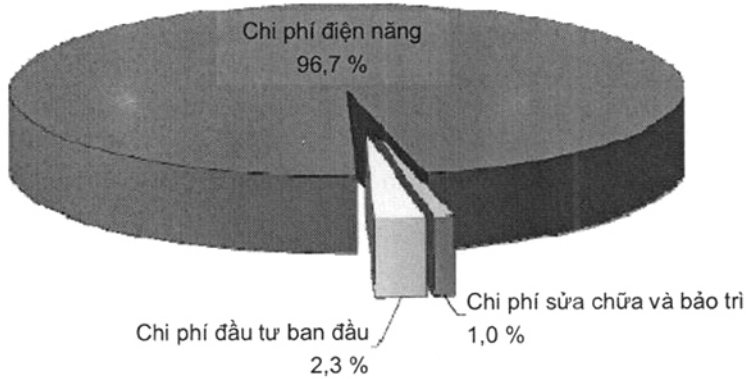
Động cơ có kết cấu để sử dụng trong khí quyển có bụi dễ cháy nổ có bảo vệ chống môi cháy bụi bằng vỏ bọc "t" hoặc "tD" (theo IEC 60079-31 hoặc IEC 61241-1) có gioăng làm kín trực bổ sung. Mức hiệu suất năng lượng của các động cơ này cũng có thể bị giảm.

## **8 Tính kinh tế**

### **8.1 Liên quan đến người sử dụng**



Người sử dụng động cơ mong muốn hệ thống động cơ tin cậy và hiệu quả về chi phí. Chi phí mua động cơ ban đầu thường thấp so với chi phí vận hành trong thời gian làm việc. Các chi phí vận hành của động cơ điện thường chiếm nhiều hơn 90 % tổng chi phí (xem Hình 12).



CHÚ THÍCH: Nguồn: EuP Lot 11, 2008, xem Thư mục tài liệu tham khảo.

**Hình 12 – Động cơ công suất 11 kW, cấp hiệu suất IE3 làm việc đầy tải, 4 000 giờ làm việc trong một năm, vòng đời 15 năm**

Động cơ hiệu suất càng cao thì giá thành càng cao vì chất lượng chế tạo cao hơn và sử dụng nhiều vật liệu hơn. Chi phí bổ sung phụ thuộc vào cỡ đầu ra và kiểu động cơ. Lượng vật liệu tác dụng (thép, đồng) yêu cầu sẽ tăng thêm 10 % đến 15 % khi chuyển từ cấp IE1 sang cấp IE2 và tăng thêm 10 % đến 15 % nữa khi chuyển từ cấp IE2 sang cấp IE3. Ngoài ra có thể cần vật liệu chất lượng cao hơn. Do đó, chi phí thông thường sẽ tăng từ 10 % đến 30 % cho mỗi cấp hiệu suất tăng thêm. Khi so sánh hiệu suất động cơ, không chỉ việc tăng hiệu suất mà còn phải tính đến cả hệ số công suất tương ứng.

Cả trong trường hợp thay thế hoặc lắp đặt mới, người sử dụng phải đối mặt với quyết định phức tạp khi mua động cơ vì liên quan đến việc xem xét chi phí vận hành và chi phí mua sắm ban đầu cho các phương án thực hiện khác. Trong trường hợp thay thế, người sử dụng cũng cần đánh giá trường hợp sửa chữa động cơ.

Để xác định tính khả thi về kinh tế của việc lắp đặt động cơ hiệu suất năng lượng, cần đánh giá tổng năng lượng tiết kiệm hằng năm so với chi phí bổ sung của các động cơ này so với các động cơ tiêu chuẩn hoặc động cơ hiện có.

Nhìn chung sử dụng hai phương pháp sau đây để ra quyết định:

- hoàn vốn đơn giản;
- chi phí cho cả vòng đời.

## 8.2 Chi phí mua sắm ban đầu

Chi phí mua sắm ban đầu gồm lập kế hoạch, lắp đặt và giá mua động cơ và thiết bị bổ sung, ví dụ như bộ truyền động thay đổi tốc độ.

## TCVN 6627-31:2011

Để so sánh chi phí, phải xác định đường chuẩn. Ở các nước có qui định mức hiệu suất năng lượng tối thiểu (MEPS), đường chuẩn là động cơ có mức hiệu suất tương ứng; ở những nước chưa có yêu cầu bắt buộc này thì thường là động cơ tiêu chuẩn sử dụng nhiều nhất trong một thị trường cho trước. Sau đó dự án phải được xác định với các động cơ có mức hiệu suất cao hơn đến IE3.

Chi phí của bộ truyền động thay đổi tốc độ phải được cộng vào chi phí của dự án nếu như chúng được coi là khả thi đối với kiểu máy và kiểu vận hành cho trước.

Trong trường hợp thay động cơ do hỏng, không tính thêm chi phí của động cơ hiện có. Trong trường hợp thay trước thời hạn, giá trị còn dư do thời gian làm việc bị mất có thể được đưa vào tính toán giá mua sắm ban đầu.

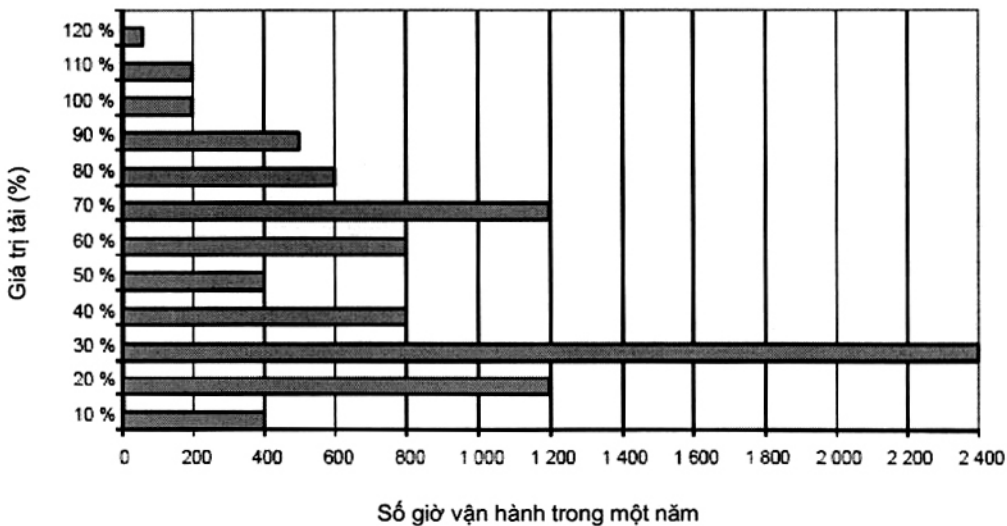
### 8.3 Chi phí vận hành

Chi phí vận hành gồm chi phí cho điện năng, bảo trì và sửa chữa.

Lượng điện năng tiêu thụ dự kiến được tính dựa trên ba yếu tố sau:

- hệ số tải trung bình hằng năm (ví dụ xem Hình 13);
- hiệu suất động cơ đối với hệ số tải trung bình;
- số giờ làm việc hằng năm.

Đối với các động cơ có tốc độ không đổi, các yếu tố này có thể được ước lượng dễ dàng với độ chính xác cao. Để tính toán hệ thống động cơ có tải thay đổi và khi sử dụng bộ truyền động thay đổi tốc độ (VSD), việc tính toán hệ số tải trung bình, số giờ làm việc tương ứng và hiệu suất của động cơ khi có bộ truyền động thay đổi tốc độ phải dựa trên profin tải điển hình. Nếu chưa có profin tải liên quan đo được của hệ thống hiện có, phải giả thiết profin trung bình (ví dụ):



Hình 13 – Ví dụ về đồ thị hệ số tải: chia theo số giờ vận hành trong năm

Chi phí vận hành liên quan đến điện năng thường gồm ba yếu tố về biểu giá hoặc hợp đồng cung cấp với đơn vị cấp điện địa phương:

- giá năng lượng (kWh) của lượng điện năng tiêu thụ (có tính đến ngày/đêm, mùa và các yếu tố biểu giá khác);
- chi phí tải đỉnh (kW) đã trả, ghi lại các đỉnh sau từng 15 min;
- chi phí cho hệ số công suất chưa hiệu chỉnh (kVA).

Sự thay đổi cục bộ của các khoản chi phí về điện nêu trên và cấu trúc của chúng phải được tính đến cũng như chiết khấu, biểu giá và tăng giá trong tương lai trong suốt vòng đời kỹ thuật dự kiến (máy điện có thể làm việc bao lâu kể cả những lần sửa chữa) của động cơ hoặc ứng dụng (chọn trường hợp nào xảy ra trước). Các thành phần chi phí cố định trong biểu giá không được tính đến vì chúng không bị ảnh hưởng bởi sự cải thiện về hiệu suất năng lượng.

Ngoài các chi phí về điện còn có các chi phí về bảo trì và sửa chữa. Chi phí này phải được ước lượng dựa trên kinh nghiệm của nhà máy về chi phí trên mỗi giờ vận hành của động cơ có công suất ra, tốc độ và số giờ vận hành hàng năm khác nhau.

Khi phân tích chi phí vòng đời, cũng phải đánh giá tuổi thọ của chi phí vận hành. Nếu không có sẵn dữ liệu từ kinh nghiệm của nhà máy về kho động cơ thì có thể sử dụng dữ liệu kỹ thuật trung bình của tuổi thọ dưới đây (xem Bảng 5):

**Bảng 5 – Vòng đời trung bình đối với động cơ điện**

	Công suất ra danh định của động cơ, kW			
	0,75 – 1,1	1,1 – 11	11 – 110	110 – 370
Vòng đời trung bình (năm)	10	12	15	20

Tuổi thọ thực tế phụ thuộc vào số giờ vận hành hàng năm, chu kỳ vận hành, hệ số tải và độ tin cậy, chất lượng bảo trì và sửa chữa của động cơ. Vì chi phí vận hành, đặc biệt là chi phí điện năng, chiếm ưu thế rõ rệt trong tính toán chi phí nên cần kiểm tra cùng với phân tích độ nhạy. Cần thay đổi một hoặc một số thành phần trong chi phí vận hành để kiểm tra tính bền vững của kết quả. Các kết quả bền vững có nghĩa là các biến thể khác nhau của thời gian hoàn vốn hoặc chi phí vòng đời không làm thay đổi trình tự của chúng khi so sánh. Điện năng tiêu thụ đối với số giờ vận hành hàng năm là một yếu tố quan trọng nhất và do đó cần thay đổi yếu tố này.

#### 8.4 Chi phí quán lại dây

Ngoài chi phí đầu tư ban đầu và chi phí vận hành, chi phí sửa chữa động cơ hỏng cũng được tính đến khi ra quyết định.

Khi động cơ hỏng hoặc cháy, cần xem xét đến những tùy chọn sau:

## **TCVN 6627-31:2011**

- a) quấn lại dây cho động cơ hỏng;
- b) mua động cơ hiệu suất tiêu chuẩn;
- c) mua động cơ hiệu suất năng lượng.

Giả thiết là động cơ hỏng có thể được quấn lại, chi phí ban đầu sẽ thấp nhất để quấn lại động cơ như qui định kỹ thuật ban đầu. Tuy nhiên, tùy thuộc vào thực tế quấn dây của các cơ sở quấn dây khác nhau (ví dụ nhiệt độ gia nhiệt được sử dụng để loại bỏ dấy quấn cũ có thể ảnh hưởng đến đặc tính của các lớp thép hoặc dây đồng mới có thể làm thay đổi tổn hao của đồng trong stato), hiệu suất có thể giảm từ 1,0 % đến 2,5 %.

Trong trường hợp như vậy, cần so sánh giữa việc sử dụng động cơ quấn lại (chi phí quấn lại dây + chi phí vận hành cao hơn do giảm hiệu suất) và việc mua động cơ hiệu suất năng lượng mới (với chi phí mua mới và chi phí vận hành thấp hơn do hiệu suất cao hơn). Ngoài vấn đề này, hệ số tải, số giờ vận hành hàng năm, chi phí về điện cũng cần được quan tâm để có thể đánh giá chính xác.

### **8.5 Thời gian hoàn vốn**

Phương pháp hoàn vốn đơn giản dựa trên sự đầu tư bổ sung đối với các động cơ hiệu suất cao hơn (và có thể là bộ truyền động thay đổi tốc độ (VSD) và thiết bị cải tiến khác) đổi lại có chi phí vận hành hàng năm thấp hơn.

Người sử dụng phải biết các yếu tố sau:

- giá tiền của các phương án lựa chọn của dự án đối với các động cơ có cấp hiệu suất khác nhau và bộ truyền động thay đổi tốc độ khác nhau;
- thời gian vận hành hàng năm;
- chi phí về điện;
- kế hoạch giảm biểu giá;
- chiết khấu.

Khi đó, người sử dụng có thể tính toán chi phí vận hành và so sánh thời gian hoàn vốn của các phương án lựa chọn khác nhau của dự án. Đối với thời gian hoàn vốn trong vòng 1 năm, thường không yêu cầu tính toán các chi phí lạm phát, bảo trì, nhân công và sự tăng giá năng lượng. Tuy nhiên, nếu thời gian hoàn vốn nhiều hơn 1 năm, những yếu tố trên không thể bỏ qua. Người sử dụng có thể chọn giải pháp với thời gian hoàn vốn ngắn nhất.

Người sử dụng cũng có thể có thời gian hoàn vốn tối đa được xác định từ trước trong nhà máy thường là từ 2 năm đến 5 năm. Thời gian này ngắn hơn đáng kể so với tuổi thọ dự kiến của hệ thống động cơ. Điều này có nghĩa là sau thời gian hoàn vốn ngắn, động cơ vẫn tiếp tục chạy cho đến cuối vòng đời kỹ thuật của nó mà không cần chi phí đầu tư thêm. Trong thời gian này, động cơ tạo ra lợi nhuận với.

## 8.6 Chi phí vòng đời

Trong phân tích chi phí vòng đời, tổng chi phí của tất cả các phần tử trong ba giai đoạn đối với các phương án lựa chọn khác nhau của dự án được so sánh với đường chuẩn:

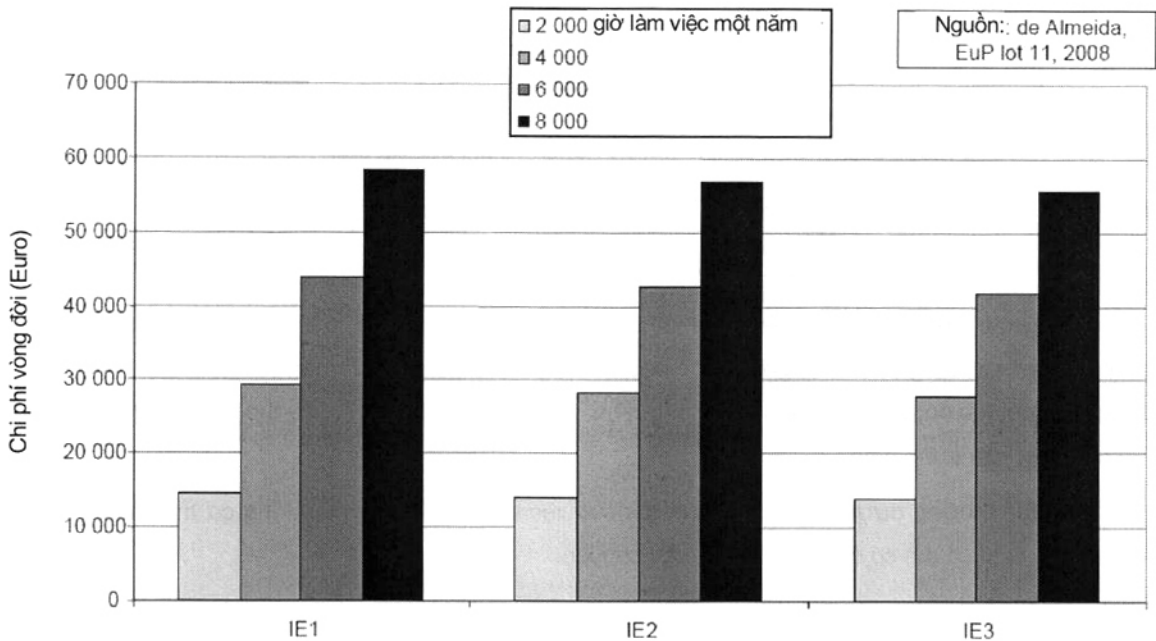
- chi phí mua ban đầu (hoặc sửa chữa), chi phí lập kế hoạch và chi phí lắp đặt;
- chi phí vận hành trong giai đoạn làm việc (năng lượng, bảo trì và sửa chữa);
- giai đoạn cuối tuổi thọ với chi phí loại bỏ và chi phí tái chế.

Để tính toán chính xác, phân tích dòng tiền khấu trừ cũng phải được thực hiện có tính đến lãi suất và tỷ lệ lạm phát. Người sử dụng phải biết giá mua của các động cơ cấp hiệu suất khác nhau và các bộ truyền động thay đổi tốc độ, thời gian làm việc hằng năm, chi phí điện, thời gian tuổi thọ dự kiến và chi phí bảo trì và sửa chữa trung bình.

Chi phí cuối tuổi thọ thường được bỏ qua khi tính toán vì việc tái chế vật liệu của động cơ thường đủ bù đắp cho các chi phí có thể có cho tháo dỡ và vận chuyển.

Người sử dụng có thể chọn phương án có chi phí vòng đời thấp nhất. Chi phí vòng đời thấp nhất là lựa chọn tốt nhất cho người sử dụng. Với đầu tư lớn hơn, họ có thể giúp xác định dự án tối ưu.

Nghiên cứu mới đây của Châu Âu (EuP 2008: Hình 14) khẳng định các động cơ IE3 mới có công suất từ 1,1 kW đến 110 kW có chi phí vòng đời thấp hơn các động cơ IE1 hoặc IE2 nếu các động cơ này có số giờ làm việc trong một năm nhiều hơn 2 000 h.



CHÚ THÍCH: Nguồn: EuP, lot 11 2008, xem Thư mục tài liệu tham khảo.

#### Hình 14 – Phân tích chi phí vòng đời của động cơ 11 kW làm việc đầy tải

Trong một số nghiên cứu cũng đã xem xét đến tác động môi trường của động cơ hiệu suất cao và bộ truyền động thay đổi tốc độ. Vật liệu bổ sung được sử dụng khi chế tạo thiết bị hiệu suất năng lượng cao hơn được phản ánh trong giá mua cao hơn. Nghiên cứu khẳng định rằng nếu chi phí tuổi thọ thấp hơn đối với các động cơ hiệu suất cao hơn thì điều này cũng đúng khi xem xét khía cạnh tác động môi trường.

### 9 Bảo trì

Động cơ điện nhìn chung ít cần bảo trì, do đó bảo trì thích hợp thường hay bị quên. Có một số bất thường thường xảy ra có ảnh hưởng bất lợi đến tính năng của động cơ:

- thông gió không đủ;
- nhiệt độ môi trường cao;
- sự liên kết cơ khí không thẳng hàng;
- ứng dụng đai thang không phù hợp;
- bôi trơn không phù hợp;
- độ ẩm quá lớn;
- nhiễm bẩn;

h) quá tải kéo dài;

i) điện áp bất thường;

j) mất cân bằng điện áp nghiêm trọng (mất một pha).

Thông gió không đủ hoặc nhiệt độ môi trường cao gây ra điện trở cao hơn trong dây quấn. Tính trung bình, hiệu suất của động cơ sẽ giảm từ 0,2 % đến 1,0 % từ nhiệt độ phòng đến nhiệt độ làm việc của động cơ. Ngoài ra, độ tăng nhiệt quá mức gây ra do bảo trì kém hoặc sử dụng sai ứng dụng sẽ làm giảm tuổi thọ làm việc của động cơ và tăng tiêu thụ năng lượng.

Đôi khi ma sát bổ sung có thể tăng từ từ trong máy được truyền động. Điều này có thể gây ra do tích tụ bụi trên quạt, mòn các bộ phận, bánh răng hoặc đai truyền không thẳng hàng, hoặc do bôi trơn không đủ trong máy được truyền động. Các điều kiện này làm giảm hiệu suất của máy được truyền động, làm giảm hiệu suất của hệ thống và tăng tiêu thụ năng lượng. Để đảm bảo hiệu suất làm việc lâu dài và kéo dài tuổi thọ động cơ, cần thiết lập kế hoạch bảo trì đều đặn động cơ và các thiết bị được truyền động.

**Phụ lục A**  
(tham khảo)  
**Hiệu suất siêu đặc biệt (IE4)**

Các giá trị giới hạn danh nghĩa đề xuất dưới đây cho hiệu suất năng lượng siêu đặc biệt được đưa ra để tham khảo. Trong TCVN 6627-30 (IEC 60034-30), thuật ngữ “siêu đặc biệt” và “IE4” được dự kiến có tổn hao giảm xấp xỉ 15 % so với IE3. Định nghĩa chính xác được đề xuất trong Phụ lục này.

Cấp hiệu suất năng lượng IE4 không bị giới hạn ở các động cơ cảm ứng lồng sóc ba pha như cấp IE1, IE2 và IE3 của TCVN 6627-30 (IEC 60034-30). Thay vào đó, IE4 nhằm để sử dụng với tất cả các kiểu động cơ điện, đặc biệt là với máy điện cấp nguồn qua bộ chuyển đổi (cả động cơ kiểu cảm ứng lồng sóc và kiểu khác như động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu, v.v...).

Vì tần số lưới điện và số cực của máy điện cấp điện qua bộ chuyển đổi không liên quan trực tiếp đến tốc độ nên các động cơ này thường được đặc trưng bởi một dải tốc độ và được phân loại theo mômen mà không phải theo công suất. Do đó các giới hạn của IE4 được xếp loại theo mômen và được cho đối với các dải tốc độ rời rạc. Hình A.1 thể hiện các ví dụ về các đường cong hiệu suất này.

CHÚ THÍCH 1: Người sử dụng cần nhận thức rằng các bộ biến tần cũng có thể có hiệu suất kết hợp mà có thể làm giảm hiệu suất của hệ thống (động cơ có bộ biến tần).

CHÚ THÍCH 2: Để xác định hiệu suất của động cơ cấp điện qua bộ biến đổi, xem IEC 60034-2-3 (đang chuẩn bị).

Tuy nhiên, không cần phải đánh giá động cơ trên toàn bộ dải tốc độ từ 801 r/min đến 3 600 r/min, và cũng không cần đánh giá mômen không đổi trên toàn bộ dải tốc độ danh định.

Giới hạn danh nghĩa của hiệu suất siêu đặc biệt nhìn chung có thể tính được đối với mômen danh định  $T_N$  sử dụng công thức sau:

$$\eta_N = A \times \left[ \log_{10} \left( \frac{T_N}{1 \text{ Nm}} \right) \right]^3 + B \times \left[ \log_{10} \left( \frac{T_N}{1 \text{ Nm}} \right) \right]^2 + C \times \log_{10} \left( \frac{T_N}{1 \text{ Nm}} \right) + D$$

trong đó A, B, C, D là hệ số nội suy (xem Bảng A.1 dưới đây).

CHÚ THÍCH 3: Công thức và các hệ số nội suy được rút ra thuần túy từ toán học để tạo ra đường cong phù hợp nhất với các giới hạn hiệu suất danh nghĩa mong muốn. Chúng không có ý nghĩa về vật lý.

Hiệu suất tính được (%) được làm tròn đến một số có nghĩa sau dấu thập phân, tức là xx,x %.

Hiệu suất IE4 danh nghĩa đối với mômen lớn hơn 2 000 Nm bằng với các giới hạn đối với 2 000 Nm. Không xác định hiệu suất IE4 danh nghĩa đối với công suất ra lớn hơn 400 kW.

Khi đánh giá từ hai giá trị mômen và tốc độ (dải giá trị) trở lên, các giới hạn hiệu suất danh nghĩa theo tiêu chuẩn này cần được tính toán và áp dụng riêng rẽ đối với từng tổ hợp (các) mômen động cơ danh định và (dải) tốc độ danh định.



Đối với động cơ được đánh giá bởi công suất danh nghĩa  $P_N$  mà không phải bằng mômen, cần sử dụng công thức sau để xác định  $T_N$ :

$$T_N = \frac{P_N}{n_N} \cdot \frac{60 \cdot 1000}{2\pi}$$

Mômen tính được cần được làm tròn đến giá trị gần nhất lấy từ dãy số ưu tiên R10, xem ISO 3.

Để duy trì tính tương thích với động cơ 2, 4, 6 cực, một tốc độ, làm việc trên lưới, Bảng A.3 đưa ra sự chuyển đổi giữa mômen và tốc độ theo các mức công suất tiêu chuẩn. Từ đó, Bảng A.4 đưa ra các giới hạn hiệu suất IE4 đối với nguồn điện 50 Hz và Bảng A.5 đối với nguồn điện 60 Hz.

**Bảng A.1 – Hệ số nội suy**

Mã IE	Hệ số	Từ 801 đến 1000 r/min	Từ 1001 đến 1200 r/min	Từ 1201 đến 1500 r/min	Từ 1501 đến 1800 r/min	Từ 1801 đến 3000 r/min	Từ 3001 đến 3600 r/min
		max 2000 Nm	max 2000 Nm	max 2000 Nm	max 2000 Nm	max 1250 Nm	max 1000 Nm
IE4	A	0,2824	0,1901	0,1846	0,1648	0,2116	0,2227
	B	-3,8439	-2,9242	-2,7433	-2,4976	-2,6695	-2,7262
	C	17,4628	13,6953	12,7473	11,6595	11,3369	11,1625
	D	70,2209	76,1961	77,9565	79,7787	80,8449	81,2267

Để đơn giản trong việc sử dụng các mức mômen rời rạc, có thể áp dụng các giới hạn danh nghĩa từ Bảng A.2.

Bảng A.2 – Giới hạn danh nghĩa (%) đối với hiệu suất siêu đặc biệt IE4

$T_N$ Nm	Từ 801 đến 1000 r/min	Từ 1001 đến 1200 r/min	Từ 1201 đến 1500 r/min	Từ 1501 đến 1800 r/min	Từ 1801 đến 3000 r/min	Từ 3001 đến 3600 r/min
2,5	76,6	81,2	82,6	84,0	84,9	85,3
3,2	78,0	82,3	83,7	85,0	85,9	86,1
4,0	79,4	83,4	84,7	85,9	86,7	87,0
5,0	80,6	84,4	85,6	86,8	87,5	87,8
6,3	81,9	85,4	86,5	87,6	88,3	88,5
8	83,1	86,3	87,4	88,4	89,1	89,2
10	84,1	87,2	88,1	89,1	89,7	89,9
12,5	85,1	88,0	88,9	89,8	90,3	90,5
16	86,2	88,8	89,7	90,5	91,0	91,1
20	87,1	89,5	90,3	91,1	91,5	91,6
25	87,9	90,1	90,9	91,6	92,1	92,1
32	88,7	90,8	91,5	92,2	92,5	92,6
40	89,5	91,4	92,1	92,7	93,0	93,0
50	90,2	92,0	92,6	93,2	93,4	93,4
63	90,8	92,5	93,1	93,6	93,8	93,8
80	91,5	93,0	93,6	94,1	94,2	94,1
100	92,0	93,4	94,0	94,4	94,5	94,4
125	92,5	93,8	94,3	94,8	94,8	94,7
160	93,1	94,2	94,7	95,1	95,1	95,0
200	93,5	94,5	95,0	95,4	95,4	95,2
250	93,9	94,8	95,3	95,6	95,6	95,4
315	94,3	95,1	95,6	95,9	95,8	95,6
400	94,6	95,4	95,8	96,1	96,0	95,7
500	94,9	95,6	96,0	96,3	96,2	95,9
630	95,2	95,8	96,2	96,5	96,3	96,0
800	95,4	96,0	96,4	96,6	96,4	96,1
1000	95,6	96,1	96,5	96,7	96,5	96,2
1250	95,8	96,2	96,6	96,8	96,6	-
1600	96,0	96,3	96,7	96,9	-	-
2000	96,1	96,4	96,8	97,0	-	-
2500	96,1	96,4	96,8	-	-	-
3150	96,1	96,4	-	-	-	-
4000	96,1	-	-	-	-	-

**Bảng A.3 – Công suất tiêu chuẩn tính bằng kW kết hợp với mô men và tốc độ đối với động cơ làm việc trên lưới**

$T_N$ Nm	50 Hz, 6 cực (Từ 801 đến 1000 r/min)	60 Hz, 6 cực (Từ 1001 đến 1200 r/min)	50 Hz, 4 cực (Từ 1201 đến 1500 r/min)	60 Hz, 4 cực (Từ 1501 đến 1800 r/min)	50 Hz, 2 cực (Từ 1801 đến 3000 r/min)	60 Hz, 2 cực (Từ 3001 đến 3600 r/min)
2,5	-	-	-	-	0,75	-
3,2	-	-	-	-	-	1,1
4,0	-	-	-	0,75	1,1	1,5
5,0	-	-	0,75	-	1,5	-
6,3	-	0,75	-	1,1	-	2,2
8	0,75	-	1,1	1,5	2,2	-
10	1,1	1,1	1,5	-	3	3,7
12,5	-	1,5	-	2,2	4	-
16	1,5	-	2,2	-	-	5,5
20	2,2	2,2	3	3,7	5,5	7,5
25	-	-	4	-	7,5	-
32	3	3,7	-	5,5	-	11
40	4	-	5,5	7,5	11	15
50	5,5	5,5	7,5	-	15	18,5
63	-	7,5	-	11	18,5	22
80	7,5	-	11	15	22	30
100	-	11	15	18,5	30	37
125	11	15	18,5	22	37	45
160	15	18,5	22	30	45	55
200	18,5	22	30	37	55	75
250	22	30	37	45	75	90
315	30	37	45	55	90	110
400	37	45	55	75	110 / 132	150
500	45	55	75	90	160	185
630	55	75	90	110	200	220 / 250
800	75	90	110	150	250	300
1000	90 / 110	110	132 / 160	185	315	335 / 375
1250	132	150	200	220 / 250	355 / 375	-
1600	160	185	250	300	-	-
2000	200	220 / 250	315	335 / 375	-	-
2500	250	300 / 335	355 / 375	-	-	-
3150	315	375	-	-	-	-
4000	355 / 375	-	-	-	-	-

**Bảng A.4 – Giới hạn danh nghĩa của hiệu suất siêu đặc biệt (IE4) đối với động cơ làm việc trên lưới tần số 50 Hz**

$P_N$ kW	2 cực 50 Hz	4 cực 50 Hz	6 cực 50 Hz
0,75	84,9	85,6	83,1
1,1	86,7	87,4	84,1
1,5	87,5	88,1	86,2
2,2	89,1	89,7	87,1
3	89,7	90,3	88,7
4	90,3	90,9	89,5
5,5	91,5	92,1	90,2
7,5	92,1	92,6	91,5
11	93,0	93,6	92,5
15	93,4	94,0	93,1
18,5	93,8	94,3	93,5
22	94,2	94,7	93,9
30	94,5	95,0	94,3
37	94,8	95,3	94,6
45	95,1	95,6	94,9
55	95,4	95,8	95,2
75	95,6	96,0	95,4
90	95,8	96,2	95,6
110	96,0	96,4	95,6
132	96,0	96,5	95,8
160	96,2	96,5	96,0
200	96,3	96,6	96,1
250	96,4	96,7	96,1
315	96,5	96,8	96,1
355	96,6	96,8	96,1
375 (400)	96,6	96,8	96,1

**Bảng A.5 – Giới hạn danh nghĩa của hiệu suất siêu đặc biệt (IE4) đối với động cơ làm việc trên lưới tần số 60 Hz**

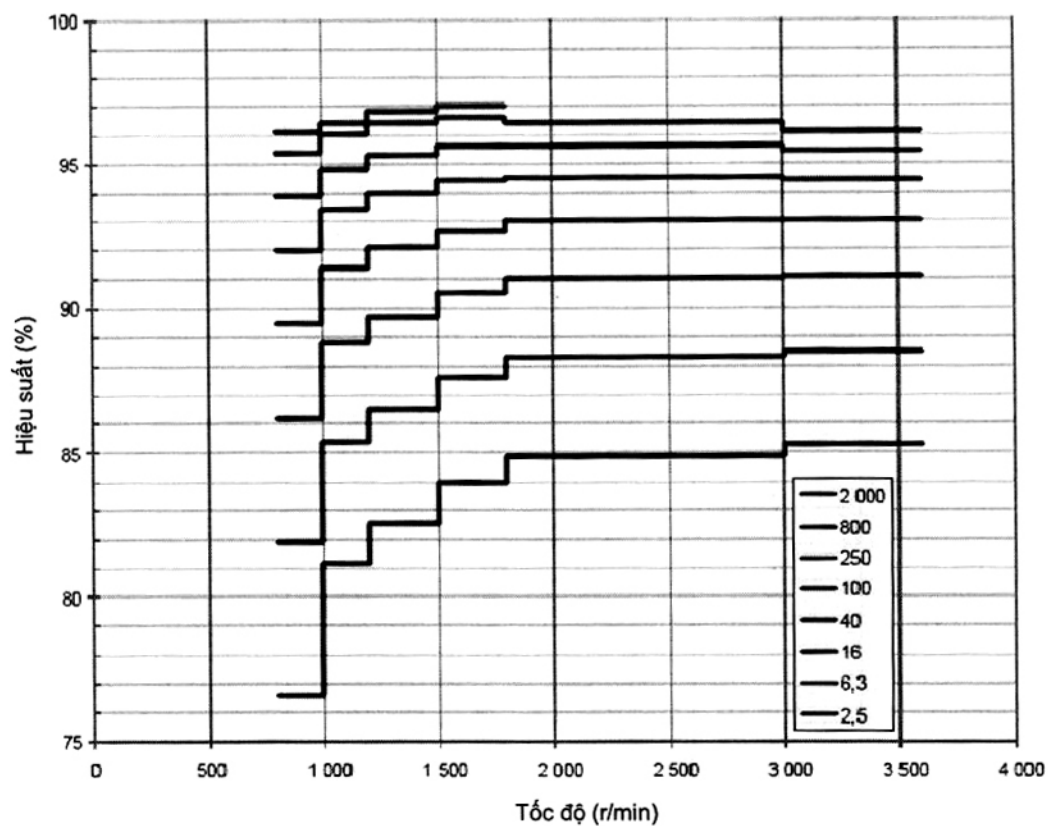
$P_N$ kW	2 cực 60 Hz	4 cực 60 Hz	6 cực 60 Hz
0,75	-	85,9	85,4
1,1	86,1	87,6	87,5 <sup>a</sup>
1,5	87,0	88,4	88,5 <sup>a</sup>
2,2	88,5	89,8	89,5
3,7	89,9	91,1	90,8
5,5	91,1	92,2	92,0
7,5	91,6	92,7	92,5
11	92,6	93,6	93,4
15	93,0	94,1	93,8
18,5	93,4	94,4	94,2
22	93,8	94,8	94,5
30	94,1	95,1	94,8
37	94,4	95,4	95,1
45	94,7	95,6	95,4
55	95,0	95,9	95,6
75	95,2	96,1	95,8
90	95,4	96,3	96,0
110	95,6	96,5	96,1
150	95,7	96,6	96,2
185	95,9	96,7	96,3
220	96,0	96,8	96,4
250	96,0	96,8	96,4
300	96,1	96,9	96,4
335	96,2	97,0	96,4
375	96,2	97,0	96,4

<sup>a</sup> Do sự không liên tục trong đường cong IE3 60 Hz đối với các động cơ 6 cực có công suất ra là 1,1 kW; 1,5 kW và 2,2 kW, các giá trị giới hạn của IE4 được lấy từ đường cong trơn (Bảng A.2) thấp hơn một chút so với các giá trị IE3 (87,5 % đối với 1,1 kW và 88,5 % đối với 1,5 kW).

Khi áp dụng các giá trị giới hạn hiệu suất IE4 cho động cơ thuộc phạm vi áp dụng của TCVN 6627-30 (IEC 60034-30), phải đảm bảo đáp ứng mức hiệu suất năng lượng yêu cầu đối với IE3.

Do đó, các giới hạn hiệu suất của Bảng A.5 đối với động cơ 6 cực, công suất từ 1,1 kW đến 1,5 kW, tần số 60 Hz lớn hơn một chút so với các giới hạn từ Bảng A.2.

Giới hạn hiệu suất IE4 danh nghĩa đối với mô men được chọn (Nm)



Hình A.1 – Giới hạn hiệu suất IE4

### Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] TCVN 6627-2-1 (IEC 60034-2-1), Máy điện quay – Phần 2-1: Phương pháp tiêu chuẩn để xác định tổn hao và hiệu suất bằng thử nghiệm (không kể máy điện dùng cho xe kéo)
- [2] IEC 60034-2-3, Rotating electrical machines – Part 2-3: Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC motors (Máy điện quay – Phần 2-3: Phương pháp thử nghiệm riêng để xác định tổn hao và hiệu suất của động cơ điện xoay chiều được cấp điện từ bộ chuyển đổi)<sup>1</sup>
- [3] TCVN 6627-12 (IEC 60034-12), Máy điện quay – Phần 12: Tính năng khởi động của động cơ cảm ứng lồng sóc ba pha một tốc độ
- [4] IEC TS 60034-17, Rotating electrical machines – Part 17: Cage induction motors when fed from converters – Application guide (Máy điện quay – Phần 17: Động cơ cảm ứng lồng sóc khi được cấp điện từ bộ chuyển đổi – Hướng dẫn áp dụng)
- [5] IEC/TS 60034-25, Rotating electrical machines – Part 25: Guidance for design and performance of a.c. motors specifically designed for converter supply (Máy điện quay – Phần 25: Hướng dẫn thiết kế và tính năng của động cơ điện xoay chiều được thiết kế riêng để sử dụng nguồn là bộ chuyển đổi)
- [6] IEC 60034-26, Rotating electrical machines – Part 26: Effects of unbalanced voltages on the performance of three-phase cage induction motors (Máy điện quay – Phần 26: Ảnh hưởng của sự mất cân bằng điện áp lên tính năng của động cơ cảm ứng lồng sóc ba pha)
- [7] TCVN 7862 (IEC 60072-1), Dây kích thước và dây công suất đầu ra của máy điện quay – Phần 1: Số khung 56 đến 400 và số mặt bích 55 đến 1080
- [8] IEC 60079-0, Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements (Khí quyển nổ - Phần 0: Thiết bị - Yêu cầu chung)
- [9] IEC 60300-3-3, Dependability management – Part 3-3: Application guide – Life cycle costing (Quản lý độ tin cậy – Phần 3-3: Hướng dẫn áp dụng)
- [10] IEC 61241-1, Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust – Part 1: Protection by enclosures "tD" (Thiết bị điện dùng ở những nơi có bụi dễ cháy – Phần 1: Bảo vệ bằng vỏ "tD") (đã bị hủy)
- [11] IEC 61800-2, Adjustable speed electrical power drive systems – Part 2: General requirements – Rating specifications for low voltage adjustable frequency a.c. power drive systems (Hệ thống truyền động công suất điện thay đổi tốc độ - Phần 2: Yêu cầu chung – Qui định thông số tính năng đối với hệ thống truyền động điện xoay chiều điện áp thấp điều chỉnh được tần số)

---

<sup>1</sup> Đang chuẩn bị.

## **TCVN 6627-31:2011**

- [12] IEC 61800-8, Adjustable speed electrical power drive systems – Part 8: Specification of voltage on the power interface (Hệ thống truyền động điện có thay đổi tốc độ - Phần 8: Qui định kỹ thuật của điện áp trên giao diện công suất)
- [13] ISO 3, Preferred numbers – Series of preferred numbers (Số ưu tiên – Dãy số ưu tiên)
- [14] EN 50347, General purpose three-phase induction motors having standard dimensions and outputs – Frame numbers 56 to 315 and flange numbers 65 to 740 (Động cơ cảm ứng ba pha công dụng chung có các kích thước và công suất đầu ra tiêu chuẩn – Số khung từ 56 đến 315 và số mặt bích từ 65 đến 740)
- [15] NEMA ICS7.1, Safety Standards for Construction and Guide for Selection, Installation, and Operation of Adjustable-Speed Drive Systems (Tiêu chuẩn an toàn cho kết cấu và hướng dẫn lựa chọn, lắp đặt và vận hành hệ thống truyền động thay đổi tốc độ)
- [16] NEMA MG1, Motors and Generators (Động cơ và máy phát)
- [17] NEMA MG10, Energy Management Guide For Selection and Use of Fixed Frequency Medium AC Squirrel-Cage Polyphase Induction Motors (Hướng dẫn quản lý năng lượng để lựa chọn và sử dụng động cơ cảm ứng nhiều pha lồng sóc sử dụng điện xoay chiều tần số cố định)
- [18] NEMA MG11, Energy Management Guide For Selection and Use of Single-Phase Motors (Hướng dẫn quản lý năng lượng để lựa chọn và sử dụng động cơ một pha)
- [19] IEEE 112-1996, IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators (Quy trình thử nghiệm tiêu chuẩn của IEEE đối với động cơ cảm ứng nhiều pha và máy phát)
-