

KHẢO SÁT NĂNG LƯỢNG TRONG QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ KHI CẤP ĐIỆN TỪ BIẾN TẦN

POWER ANALYSIS OF TRANSIENT STATE OF INDUCTION MOTOR FED BY AN INVERTER

Nguyễn Vũ Thanh, Bùi Đình Tiểu, Trần Văn Thịnh

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo đưa ra mô hình khảo sát sự thay đổi năng lượng trong quá trình quá độ của động cơ không đồng bộ khi nguồn điện cấp vào lấy từ bộ biến tần. Khảo sát mô hình động cơ có tính đến hiệu ứng bề mặt và bão hòa mạch từ, trong tổng thể hệ thống thiết bị điều chỉnh - Động cơ - Phụ tải (những mô hình trước đây thường bỏ qua yếu tố này). Sử dụng một số nguồn điện áp PWM khác nhau (PWM hình sin, PWM hài bậc 3, PWM 60°) đưa vào động cơ với các dạng phụ tải phổ biến ($M_C = \text{const}$, $M_C = k\omega$, $M_C = k\omega^2$).

Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng điện áp không sin có những tác động nhất định tới năng lượng của động cơ. Tùy theo kiểu điện áp PWM sử dụng mà năng lượng trong động cơ có những biến đổi tương ứng. Ngoài ra trong quá trình quá độ còn phát sinh thêm một phần năng lượng đáng kể khác. Thành phần năng lượng này có thể xem là một yếu tố cần thiết trong quá trình quá độ để động cơ chuyển từ trạng thái làm việc này sang trạng thái làm việc khác.

ABSTRACT

The article analyses concentration on the power variation of transient state of induction motor fed by a inverter. First of all, modelling the induction motor with the skin effect and saturation is analysed (these effects are ignored in the previous model) in the Controller-Motor-Load system. After that, some types of different PWM voltage of inverter, for example, sine PWM, third harmonic PWM, 60° PWM, is supplied to the motor with the various load ($M_C = \text{const}$, $M_C = k\omega$, $M_C = k\omega^2$).

The research results prove that the sineless voltage has a specific effect on the power of motor. Depending on the used PWM voltage, the power of motor will have corresponding variations. In addition, there is a particular part of power occurs in the transient state. In the state, this particular power can be seemed as an essential part that helps the motor change from one state to another state.

I. MỞ ĐẦU

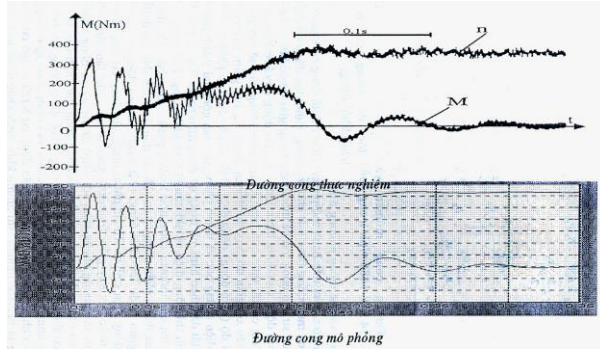
Để khảo sát các hiện tượng điện từ xảy ra trong động cơ không đồng bộ (ĐCKĐB), thì việc mô hình hóa ĐCKĐB là hết sức quan trọng. Đặc biệt là xem xét mô hình động cơ trong tổng thể hệ thống Thiết bị điều chỉnh – Động cơ – Phụ tải. Trong nhiều năm gần đây, bài toán này vẫn được các tác giả tiếp tục nghiên cứu và hoàn thiện. Tuy nhiên, phần lớn các tác giả mới chỉ dừng lại ở việc mô hình hóa không xét đến hiện tượng bão hòa mạch từ và hiệu ứng bề mặt trong động cơ. Với sự phát triển mạnh của linh kiện bán dẫn, một số tác giả xem xét ĐCKĐB như một đối tượng điều khiển trên mô hình động học, tuy nhiên mục tiêu nghiên cứu không phải là đi sâu vào những biến đổi điện từ trong động cơ mà xem xét động cơ như một đối tượng điều khiển và mô phỏng động cơ trên cơ sở tuyến tính hệ số hằng [1].

Hơn nữa ĐCKĐB được ứng dụng rất rộng rãi, đặc biệt là trong các hệ thống truyền động của các máy sản xuất. Ở đó, khi có những ĐCKĐB lớn khởi động hoặc khi làm việc ở chế độ ngắn hạn lặp lại thì việc khảo sát phần công suất cung cấp và điện năng tiêu thụ trong các quá trình quá độ là một bài toán hết sức quan trọng, đặt ra yêu cầu cần phải nghiên cứu chi tiết.

II. XÂY DỰNG PHƯƠNG TRÌNH CÔNG SUẤT VÀ ĐIỆN NĂNG CỦA ĐCKĐB CÓ XÉT ĐẾN HIỆU ỨNG MẶT NGOÀI VÀ BÃO HÒA MẠCH TỪ.

Trước tiên tiến hành mô hình hóa ĐCKĐB trên hệ trục $\alpha\beta$ có xét đến hiệu ứng mặt ngoài và bão hòa mạch từ [2,3,4].

Sau đó tiến hành mô phỏng khởi động động cơ (14kW-1480v/ph) khi không tải, để khẳng định tính đúng đắn của mô hình ta tiến hành so sánh với đường cong thực nghiệm. Kết quả cho thấy đường cong thực nghiệm và đường cong lý thuyết khá gần nhau (hình 1).



Hình 1. Kết quả mô phỏng ĐCKĐB 3 pha 14kW-1480v/ph

Từ đó, xác định được công suất tức thời và điện năng trong ĐC KĐB khi khởi động thông qua các phương trình sau:

a/ Tổn hao trong dây quấn stato khi khởi động:

$$p_{d1} = r_1(i_{1\alpha}^2 + i_{1\beta}^2)$$

b/ Tổn hao trong dây quấn roto khi khởi động:

$$p_{d1} = r_2(i_{2\alpha}^2 + i_{2\beta}^2)$$

c/ Tổn hao phát sinh trong roto khi khởi động:

$$p_{dg2} = X_{2td} \left(i_{2\alpha} \frac{di_{2\alpha}}{dt} + i_{2\beta} \frac{di_{2\beta}}{dt} \right)$$

d/ Tổn hao phát sinh trong stato khi khởi động:

$$p_{dg1} = X_{1td} \left(i_{1\alpha} \frac{di_{1\alpha}}{dt} + i_{1\beta} \frac{di_{1\beta}}{dt} \right)$$

e/ Tổn hao từ hóa:

$$p_{st} = i_{m\alpha} \frac{d\psi_{m\alpha}}{dt} + i_{m\beta} \frac{d\psi_{m\beta}}{dt}$$

f/ Công suất cơ trên trục:

$$P_{co} = \omega(\psi_{2\beta}i_{2\alpha} - \psi_{2\alpha}i_{2\beta})$$

g/ Công suất điện đưa vào:

$$P_1 = u_{1\alpha}i_{1\alpha} + u_{1\beta}i_{1\beta}$$

Như vậy ta có phương trình cân bằng công suất như sau:

$$P_1 = p_{d1} + p_{d2} + p_{dg1} + p_{dg2} + p_{st} + P_{co}$$

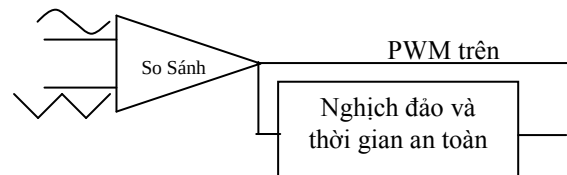
Từ đó ta xác định được mức điện năng tiêu thụ qua biểu thức dưới đây:

$$A_1 = \int_0^t p_{d1} dt + \int_0^t p_{d2} dt + \int_0^t p_{dg1} dt + \int_0^t p_{dg2} dt + \int_0^t p_{st} dt + \int_0^t P_{co} dt$$

Trong đó: t là thời điểm động cơ đạt 95% n_{dm}

III. BIẾN TẦN VỚI KỸ THUẬT PWM (ĐIỀU BIẾN ĐỘ RỘNG XUNG)

Trong điều khiển ĐCKĐB dùng biến tần với kỹ thuật PWM, thì tín hiệu PWM luôn được cập nhật, điều này tạo ra song xoay chiều tại các pha của động cơ. Phương pháp dùng để cập nhật tín hiệu PWM gọi là kỹ thuật điều biến. Một số kỹ thuật điều biến cơ bản là PWM hình sin, PWM hài bậc 3, PWM 60° và điều biến vectơ không gian. Tuy nhiên các kỹ thuật điều biến khác cũng ngày càng trở nên thông dụng do chúng tận dụng được nguồn DC tốt hơn [1,5]. Trong đó ba kỹ thuật điều biến PWM hình sin, PWM hài bậc 3, PWM 60° có chung kiểu sơ đồ tổng quát.



Hình 2. Nguyên lý chung của ba kỹ thuật điều biến

Nguyên lý chung được mô tả như sau:

- Tạo ra sóng điều biến f_r (điều biến có thể dưới dạng hình sin, có thể thêm các thành phần hài bậc cao) có tần số điều biến bằng tần số mong muốn (tần số cấp vào động cơ)
- Tạo ra sóng mang f_c dạng tam giác, có biên độ cố định, có tần số sóng mang lớn hơn nhiều tần số điều biến

- So sánh hai tín hiệu sóng điều biến và sóng mang, giao điểm của hai tín hiệu này xác định thời điểm kích mở van IGBT.

Ta được dạng sóng điện áp pha ứng với từng kỹ thuật điều biến [5].

- Đặc điểm PWM hình sin
 - Trung tính ĐC = $0,5V_{DC}$
 - Điện áp dây $U_{L-L} = 0,866V_{DC}$
- Đặc điểm PWM hài bậc ba
 - Cộng thêm vào thành phần hình sin sóng điều biến một thành phần sóng hài bậc ba
 - Trung tính ĐC dao động theo thành phần hài bậc 3
 - Điện áp dây $U_{L-L} = V_{DC}$
- Đặc điểm PWM 60°
 - Đỉnh sóng điện áp được san phẳng trong khoảng 60° đến 120° , 240° đến 300° (tính theo độ điện)
 - Điện áp dây $U_{L-L} = V_{DC}$

IV. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ CÁC NHẬN XÉT

Chương trình tính áp dụng trên động cơ với các số liệu sau:

	r_1	r_{21}	r_{20}
kW-v/ph	(Ω)	(Ω)	(Ω)
14-1480	0.4	0.376	0.235
x_{11}	x_{10}	x_{20}	x_{2s}
(Ω)	(Ω)	(Ω)	(Ω)
0.81	0.98	0.92	0.81
x_{2bh}	x_0	J_R	p
(Ω)	(Ω)	kgm ²	đôi cực
0.755	22	0.125	2

Một số kí hiệu sử dụng trong các bảng:

TG: Thời gian tốc độ động cơ đạt $95\%n_{dm}$

A_1 : Tổng điện năng đưa vào động cơ

A_{cu} : Điện năng do tổn hao đồng stato và roto

A_Σ : Điện năng do tổng tổn hao trong động cơ

A_{dg}/A_1 : Tỷ lệ phần trăm $A_{động}$ so với A_1

A_{dg}/A_Σ : Tỷ lệ phần trăm $A_{động}$ so với A_Σ

4.1 Ảnh hưởng của thay đổi tần số khi điện áp là sin chuẩn lên động cơ KĐB lúc khởi động

Khảo sát trong điều kiện:

- Điện áp là sin chuẩn
- $U = 220V$, $f = 50, 45, 35, 30, 25Hz$
- Ba dạng phụ tải ($M_C = M_{dm}$, $M_C \sim \omega^2$, $M_C \sim \omega$)

Một số nhận định (bảng 1, 2, 3):

- Với phụ tải $M_C \sim \omega^2$ năng lượng là nhỏ nhất, tiếp đến là dạng phụ tải $M_C \sim \omega$ và lớn nhất là dạng phụ tải $M_C = M_{dm}$. Điều này rất phù hợp với lý thuyết kinh điển về truyền động điện:

- Với $M_C = M_{dm}$, động cơ (ĐC) luôn phải chịu phụ tải tĩnh. Do vậy tại thời điểm khởi động $\frac{d\omega}{dt}$ nhỏ làm quá trình tăng tốc của động cơ chậm, gặp nhiều khó khăn. Mặt khác số lượng đỉnh xung trong quá trình khởi động lớn, do đó ĐC cần dùng một năng lượng lớn để tạo ra mômen đủ để thắng được mômen cản tĩnh.

- Với phụ tải $M_C \sim \omega^2$, lúc bắt đầu khởi động M_C lớn. Điều này khiến ĐC tăng tốc dễ dàng do đạt được $\frac{d\omega}{dt}$ lớn. ĐC lúc này khởi động gần như chỉ chịu mômen quán tính của tải và một lượng nhỏ mômen tĩnh do ma sát tạo ra. Nên ĐC chỉ cần một năng lượng nhỏ đủ để thắng mômen cản tĩnh ban đầu.

- Với dạng phụ tải $M_C \sim \omega$, ĐC không cần mômen mở máy lớn. Điều này khiến cho năng lượng cung cấp cho ĐC nhỏ. Hơn nữa do biên độ đỉnh xung mômen khi khởi động lớn hơn trường hợp tải $M_C \sim \omega^2$, nên năng lượng đưa vào ĐC cần nhiều hơn so trường hợp tải $M_C \sim \omega^2$.

- Khi khảo sát tương quan giữa các thành phần năng lượng xảy ra trong ĐC, nhận thấy thành phần năng lượng phát sinh khi khởi động

chiếm một tỉ lệ khá cao so với tổng năng lượng đưa vào.

Ví dụ: $f = 50\text{Hz}$, $A_{dg}/A_1 = 14,86\%$

$f = 30\text{Hz}$, $A_{dg}/A_1 = 8,43\%$

Thành phần năng lượng này có thể xem là một yếu tố cần thiết trong quá trình khởi động để ĐC chuyển từ trạng thái nghỉ sang trạng thái làm việc.

4.2 Năng lượng ĐC với các quy luật f_r khác nhau, ứng với từng loại phụ tải.

Khảo sát trong điều kiện:

- Kỹ thuật PWM (hình sin, hài bậc 3, 60°)
- $f_c = 750\text{Hz}$, $f_r = 50, 45, 40, 35, 30, 25\text{Hz}$
- Ba dạng phụ tải ($M_C = M_{dm}$, $M_C \sim \omega^2$, $M_C \sim \omega$)

Một số nhận định (tham khảo bảng 4 đến 12):

➤ Với dạng tải $M_C = M_{dm}$ năng lượng cấp vào vẫn là lớn nhất, tiếp theo là trường hợp $M_C \sim \omega$ và nhỏ nhất là trường hợp $M_C \sim \omega^2$. Điều này phù hợp với những nhận định ở mục a. Tuy nhiên nếu xét kỹ hơn, cùng một mốc thời gian ĐC đạt trạng thái xác lập (lấy mốc thời gian của điện áp sin chuẩn). Nhận thấy năng lượng cung cấp khi điện áp sin chuẩn là nhỏ nhất đối với cả ba dạng phụ tải, đứng thứ hai là trường hợp điện áp điều biến dùng kỹ thuật PWM hình sin. Điều này có thể giải thích thông qua phổ sóng hài, những thành phần sóng hài phát sinh làm cho đỉnh xung mômen lớn hơn, đường mômen tổng xuất hiện nhiều gai tại đỉnh xung do các mômen phụ sinh ra. Chính các gai đỉnh xung này làm cho đường cong công suất tức thời xấu đi, tổng năng lượng cung cấp tăng lên. Đối với hai kỹ thuật PWM hài bậc ba và PWM 60° có nhiều điểm tương đồng. Thông qua phổ sóng hài, nhận thấy ở hai kỹ thuật này thứ tự bậc sóng hài xuất hiện giống nhau, chỉ khác nhau ở biên độ sóng (trường hợp PWM hài bậc 3 biên độ sóng hài lớn hơn trường hợp PWM 60°). Điều này giải thích tại sao trong các vùng làm việc tần số khác nhau

thì kỹ thuật PWM 60° thường cho ta năng lượng cung cấp thấp hơn.

Bảng 1. Điện áp sin chuẩn

$$\frac{U}{f} = \text{const}, \quad M_C = M_{dm}$$

f	A ₁	TG	A _{dg} /A ₁	A _Σ
50	10776	.43	14,86	8777,7
45	7794,2	.33	13,03	6262,6
40	5670,6	.26	11,37	4508,1
35	4137,5	.21	9,7	3252
30	2959,6	.17	8,43	2322,8
25	2098,4	.15	7,15	1643,2

Bảng 2. Điện áp sin chuẩn

$$\frac{U}{f^2} = \text{const}, \quad M_C = k\omega^2$$

f	A ₁	TG	A _{dg} /A ₁	A _Σ
50	4143,5	.17	12,11	3085,2
45	3299,3	.17	10,9	2437,8
40	2563,5	.18	9,6	1884,4
35	1925,8	.20	8,3	1413,1
30	1395,9	.24	7,05	1019,2
25	956,04	.29	5,81	695,47

Bảng 3. Điện áp sin chuẩn

$$\frac{U}{\sqrt{f^3}} = \text{const}, \quad M_C = k\omega$$

f	A ₁	TG	A _{dg} /A ₁	A _Σ
50	4795,1	.19	11,99	3533,1
45	3811,2	.18	10,77	2806,7
40	2972,5	.17	9,54	2184,9
35	2248,3	.17	8,35	1652,1
30	1652,9	.17	6,98	1210,3
25	1140,6	.17	5,98	838,23

Bảng 4. Điện áp PWM hình sin

$$\frac{U}{f} = \text{const}, \quad M_C = M_{dm}$$

f	A ₁	A _{dg} /A ₁	A _{dg} /A _Σ	A _Σ
50	10654	13,59	17,65	8205,9
45	7874,5	12,42	15,9	6150,9
40	5734,6	10,75	13,9	4433,3
35	4158,4	9,37	12,17	3202,5
30	2963,3	8,4	10,79	2308,9
25	2124,8	7,02	8,96	1665,6

Bảng 5. Điện áp PWM hình sin

$$\frac{U}{f^2} = \text{const}, \quad M_C = k\omega^2$$

f	A ₁	A _{dg} /A ₁	A _{dg} /A _Σ	A _Σ
50	4368,9	10,89	15,56	3056,6
45	3309,8	10,47	14,49	2390,9
40	2566,2	9,41	13,03	1853,1
35	1935,6	8,18	11,3	1401
30	1455,1	6,49	9,03	1046,2
25	1064,2	5,85	7,86	791,55

Bảng 6. Điện áp PWM hình sin

$$\frac{U}{\sqrt{f^3}} = \text{const}, \quad M_C = k\omega$$

f	A ₁	A _{dg} /A ₁	A _{dg} /A _Σ	A _Σ
50	4949,7	11,02	15,67	3481,6
45	3874,5	10,09	14,17	2760,4
40	2984,3	9,03	12,6	2140,1
35	2296,7	7,75	10,9	1632,7
30	1684,1	6,58	9,2	1204,6
25	1194,4	6,30	8,60	875,15

Bảng 7. Điện áp PWM 60°

$$\frac{U}{f^2} = \text{const}, \quad M_C = k\omega^2$$

f	A ₁	A _{dg} /A ₁	A _{dg} /A _Σ	A _Σ
50	10880	14,1	17,86	8605,8
45	8036,5	13,1	16,25	6481,4
40	5748,1	10,97	14,09	4473,7
35	4173,4	9,39	12,13	3232,1
30	2972,4	8,41	10,76	2322,9
25	2126,4	7,07	9,02	1666,1

Bảng 8. Điện áp PWM 60°

$$\frac{U}{f^2} = \text{const}, \quad M_C = k\omega^2$$

f	A ₁	A _{dg} /A ₁	A _{dg} /A _Σ	A _Σ
50	4381,1	11,23	15,84	3106,7
45	3324,8	10,63	14,61	2418,8
40	2571,7	9,38	12,93	1865,5
35	1937,8	8,30	11,40	1410,9
30	1446,2	6,56	9,12	1039,6
25	1035,1	5,75	7,79	764,25

Bảng 9. Điện áp PWM 60°

$$\frac{U}{\sqrt{f^3}} = \text{const}, \quad M_C = k\omega$$

f	A ₁	A _{dg} /A ₁	A _{dg} /A _Σ	A _Σ
50	4943,3	11,35	15,86	3535,6
45	3893,3	10,25	14,27	2796
40	2995,6	9,11	12,63	2161,5
35	2305,9	7,92	11,08	1648,6
30	1684,6	6,66	9,27	1211,5
25	1181,3	6,14	8,40	863,97

Bảng 10. Điện áp PWM hài bậc ba

$$\frac{U}{f^2} = \text{const}, \quad M_C = k\omega^2$$

f	A ₁	A _{đg} /A ₁	A _{đg} /A _Σ	A _Σ
50	10801	13,81	17,78	8390,1
45	7975,4	12,71	16,05	6312,2
40	5764,4	11,07	14,13	4514
35	4178,5	9,41	12,12	3245,7
30	2975,2	8,4	10,81	2329,5
25	2128,6	7,03	8,96	1670

Bảng 11. Điện áp PWM hài bậc ba

$$\frac{U}{f^2} = \text{const}, \quad M_C = k\omega^2$$

f	A ₁	A _{đg} /A ₁	A _{đg} /A _Σ	A _Σ
50	4429,5	11,11	15,76	3121,8
45	3325,5	10,70	14,66	2426,1
40	2573,1	9,45	12,99	1871,9
35	1937,2	8,35	11,45	1411,9
30	1447,7	6,57	9,12	1042,5
25	1035,5	5,79	7,83	765,11

Bảng 12. Điện áp PWM hài bậc ba

$$\frac{U}{\sqrt{f^3}} = \text{const}, \quad M_C = k\omega$$

f	A ₁	A _{đg} /A ₁	A _{đg} /A _Σ	A _Σ
50	4991,3	11,18	15,76	3538,6
45	3894,5	10,28	14,29	2802,7
40	2995,7	9,14	12,63	2166,4
35	2306,5	7,97	11,11	1653,6
30	1685,1	6,67	9,27	1211,9
25	1182,7	6,17	8,40	866,05

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Marian P.K, Mariusz M. (Warsaw Univ. of Techno., Poland), Micheal B. (Aalborg Univ., Denmark); Pulse Width Modulation Techniques for Three-Phase Voltage Source Converters. Control in Power Electronics- Selected Problems, pp. 88-160, Academic Press 2003.
2. Bernard Adkins; The general theory of electrical machines; London Chapman & Hall Ltd 1962.
3. Bùi Đức Hùng, Trần Khánh Hà; Nghiên cứu ảnh hưởng của hiệu ứng mặt ngoài và bão hòa mạch từ khi khởi động động cơ không đồng bộ bằng phương pháp mô phỏng trên Simulink-Matlab; Tạp chí công nghiệp số 20, tháng 10-1998.
4. Bùi Đức Hùng; Nghiên cứu quá trình động khởi động động cơ không đồng bộ; Luận án Tiến sĩ khoa học kỹ thuật, ĐHBK-Hà Nội 1998
5. Richard Valentine; Motor control electronic handbook. Mc Graw – Hill, NewYork 1998

Địa chỉ liên hệ: Nguyễn Vũ Thanh - Tel: 0912.353.376, Email: thanhbkhn@mail.hut.edu.vn
B/m: Thiết bị điện - Điện Tử, Khoa Điện, Trường ĐHBK Hà Nội