

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG BIẾN TẦN ĐA MỨC CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN CÔNG SUẤT LỚN

¹Trần Duy Hưng, ¹Phạm Tuấn Hải, ²Mai Văn Chung, ²Trần Trung Dung

¹Trường Cao đẳng Công nghiệp Quốc phòng

²Trường Đại học Hùng Vương

Ngày nhận bài: 24/5/2019; Ngày sửa chữa: 21/6/2019; Ngày duyệt đăng: 28/6/2019

TÓM TẮT

Hệ truyền động xoay chiều công suất lớn được sử dụng trong một số ngành công nghiệp tại Việt Nam, cũng như trên thế giới như: hệ truyền động quạt hút của nhà máy xi măng, hệ truyền động máy bơm tại công ty cung cấp nước sạch..., hệ truyền động này thường được cấp điện bởi nghịch lưu đa mức, cho phép giảm tổn hao trong quá trình chuyển mạch. Bài báo này trình bày về bộ nghịch lưu kiểu cầu H nổi tầng có 7 mức điện áp, kết hợp với phương pháp điều khiển tựa từ thông rotor, để áp dụng cho một số cơ cấu truyền động điển hình: tải máy bơm/quạt gió, tải nâng hạ. Kết quả mô phỏng về đặc tính hệ truyền động và dạng điện áp đặt vào cuộn dây stator động cơ, đã chứng minh hiệu quả phương pháp điều khiển đề xuất.

Từ khóa: Biến tần đa mức, truyền động điện công suất lớn, điều khiển tựa theo từ thông rotor, biến tần cầu H 7 mức.

1. Đặt vấn đề

Biến tần thường dùng chuyển đổi điện áp, dòng điện ở một tần số nào đó thành điện áp, dòng điện với tần số khác. Thiết bị này được sử dụng để điều khiển vận tốc động cơ xoay chiều theo phương pháp điều khiển tần số. Đối với động cơ công suất vừa và nhỏ thường sử dụng rộng rãi biến tần 2 mức (hay còn gọi là nghịch lưu hai mức), thông thường, mạch lực của nghịch lưu cơ bản sử dụng sơ đồ mạch cầu H, van sử dụng là IGBT hoặc Mosfet, kết hợp một hệ thống điều khiển PWM để điều khiển, tuy nhiên bộ nghịch lưu 2 mức này có nhược điểm là tạo điện áp cung cấp dây động cơ với độ dốc (dv/dt) khá lớn, gây ra một số vấn đề khó khăn, như số đóng cắt cao, số lượng van ít, điện áp đầu ra

có độ đập mạch lớn, bởi tồn tại trạng thái khác zero của tổng điện thế từ các pha đến tâm nguồn DC (hiện tượng common-mode voltage) [1]. Đặc biệt đối với hệ truyền động điện công suất lớn cỡ MW, đây là loại động cơ được ứng dụng rộng rãi trong các máy móc thiết bị công nghiệp, trong các ngành khai thác mỏ, giao thông cũng như trong nhiều các máy móc thiết bị khác như thiết bị nâng, quạt gió, máy nghiền... Vì vậy vấn đề khởi động, ổn định tốc độ, đảo chiều quay, thay đổi tốc độ liên tục của các động cơ này đặt ra là hết sức phức tạp, thì bộ nghịch lưu 2 mức này không đáp ứng được của yêu cầu hệ truyền động điện. Cùng với sự tiến bộ về khoa học, để giải quyết vấn đề cải thiện chất lượng điện áp, thì sử dụng nhiều mạch cầu

BẢNG 1. Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
$u_{s\alpha}; u_{s\beta}$	V	Điện áp stator trên hệ tọa độ tĩnh (a,β).
$i_{s\alpha}; i_{s\beta}$	A	Dòng điện stator trên hệ tọa độ tĩnh (a,β).
$L_s; L_r$	H	Điện cảm stator, điện cảm rotor
$T_s; T_r$	s	Hằng số thời gian stator, rotor
σ		Hệ số từ tản toàn phần
$\omega; \omega_r$	rad/s	Tốc độ góc cơ, tốc độ góc rotor
$\psi'_{s\alpha}; \psi'_{s\beta}$	Wb	Từ thông rotor
ψ_p	Wb	Từ thông cực
i_m	A	Dòng từ hóa
m_L	N.m	Mô-men tải
p		Số đôi cực
J	kg.m ²	Mô-men quán tính

H nổi tăng để xây dựng hệ thống, còn gọi là nghịch lưu nguồn áp đa mức, mong muốn tạo ra điện áp xoay chiều với chất lượng điện áp tốt hơn và biên độ lớn hơn. Như đã biết cấu trúc chung của bộ nghịch lưu nguồn áp đa mức, là có nhiều bộ gồm sáu chuyển mạch thông thường trong nghịch lưu ba pha (H.2), để tổng hợp điện áp hình sin từ một số mức điện áp, từ nguồn áp của tụ điện, từ đó cho phép làm việc với công suất định mức lớn hơn công suất từng khóa riêng rẽ. Vì vậy bộ nghịch lưu nguồn áp đa mức, có ưu điểm công suất lớn, điện áp đặt lên linh kiện bị giảm xuống nên công suất tổn hao do quá trình đóng ngắt linh kiện giảm theo, các thành phần sóng hài bậc cao của điện áp ra giảm. Đặc biệt là nghịch lưu đa mức cấu H nổi tăng với khả năng module. Vì vậy phạm vi ứng dụng của biến tần đa mức sẽ phù hợp mức điện áp ra tăng, sẽ phù hợp với truyền động điện xoay chiều với điện áp cao và công suất lớn [2],[3],[4],[5],[6] và [7].

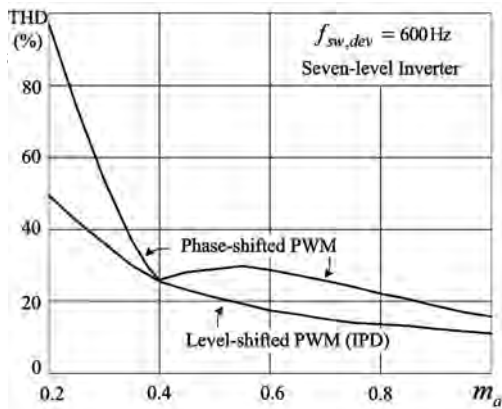
Lsd, Lsq	H	điện cảm dọc trục, ngang trục của stator
A_{tor}		Biên độ tín hiệu sóng mang
f_{car}		Tần số sóng mang
A_{ref}		Biên độ tín hiệu đặt (tín hiệu chuẩn)
f_{ref}		Tần số tín hiệu đặt

Chữ viết tắt

NLĐM	Nghịch lưu đa mức
KĐB-RLS	Không đồng bộ rotor lồng sóc
IM	Induction motor (động cơ KĐB-RLS)
FOC	Field orient control (điều khiển tựa theo từ thông rotor)
SPWM	Sine pulse width modulation
MC-KTĐL	Một chiều kích từ độc lập

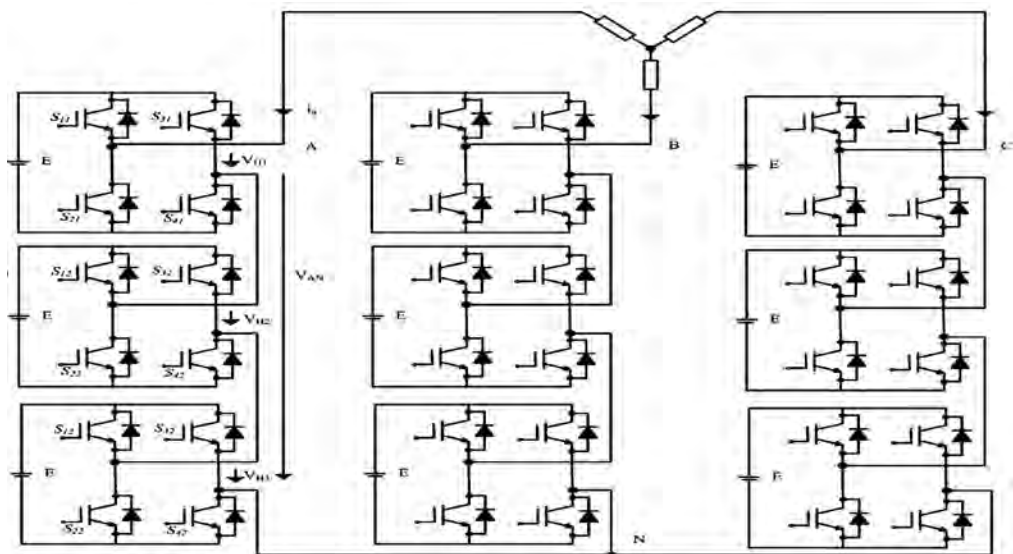
Trong sản xuất công nghiệp động cơ KĐB-RLS được ứng dụng rộng rãi, do chi phí thấp, nhỏ gọn. Động cơ IM được điều khiển tựa theo từ thông rotor, bởi vì nguyên lý này tạo ra một công cụ cho phép nhìn nhận động cơ KĐB-RLS có cùng bản chất vật lý (tạo từ thông và mô-men quay) như động cơ MC-KTĐL [8], [9]. Trong cấu trúc điều khiển FOC (hình 5), khâu điều khiển nghịch lưu nguồn áp là khâu trung gian giữa bộ điều khiển dòng stator và nghịch lưu, cũng là khâu giữ vai trò giao diện giữa thành phần cứng (hardware) và mạch nghịch lưu (điện tử công suất lớn). Để phù hợp với bộ nghịch lưu đa mức, khâu điều khiển nghịch lưu nguồn áp được gọi ý 2 phương pháp điều chế độ rộng xung PWM, đó là dùng phương pháp dịch pha sóng mang (phase-shifted), và dịch mức sóng mang (level-shifted). Hai phương pháp này, chất lượng điện áp ở phương pháp dịch mức sóng mang tốt hơn nhiều so với phương pháp dịch pha sóng

mang, thể hiện ở chỉ số phân tích méo dạng sóng hài THD (Hình 1). Ở phương pháp dịch pha sóng mang, tần số đóng cắt của các van ở các cầu H là giống nhau, còn ở phương pháp dịch mức sóng mang, tần số đóng cắt của các van ở các cầu H là khác nhau [1]. Song trong nghịch lưu đa mức, dịch pha sóng mang là giải pháp phù hợp, vì tính module hóa của phương pháp này.



Hình 1. Biểu đồ phân tích THD so sánh giữa 2 phương pháp dịch pha sóng mang và dịch mức sóng mang

Bên cạnh kết quả nghiên cứu điều khiển bộ nghịch lưu nguồn áp 7 mức, để chứng minh khả năng ứng dụng của bộ biến tần đa mức này trong thực tiễn, trong bài báo sẽ trình bày các kết quả nghiên cứu hệ truyền động FOC cho động cơ KĐB-RLS công suất lớn, với tải có mômen tỷ lệ bậc 2 với tốc độ (máy bơm, quạt...) và tải có mômen cản thế năng (cầu trục, thang máy, thang cuốn...). Đây là hướng nghiên cứu điều khiển hệ truyền động không đồng bộ, kết hợp với bộ nghịch lưu nguồn áp đa mức (7 mức), là hướng nghiên cứu mới, được nhiều nhà khoa học quan tâm, mục đích để tìm ra các cấu trúc điều khiển tối ưu cho động cơ KĐB-RLS. Để khai thác tiềm năng ứng dụng biến tần đa mức trong hệ truyền động không đồng bộ công suất lớn, thì bài báo tập trung phân tích, đánh giá kết quả đáp ứng của hệ truyền động, dòng điện ba pha tại các chế độ vận hành, qua mô phỏng Matlab - Simulink.



Hình 2. Cấu trúc bộ nghịch lưu nguồn áp 7 mức 3 pha nối tăng cầu H

2. Cấu trúc điều khiển

2.1. Cấu trúc điều khiển bộ nghịch lưu nguồn áp 7 mức

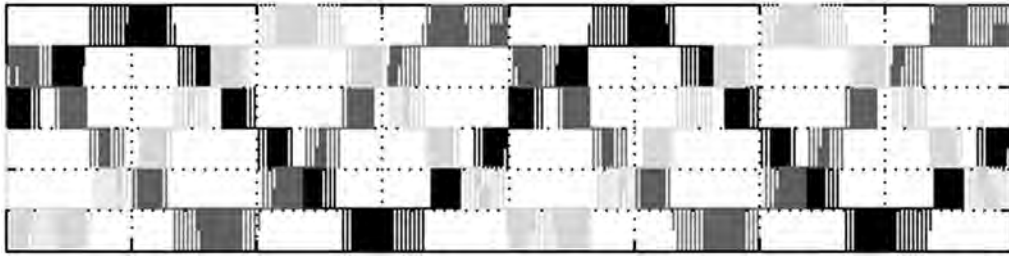
Nghịch lưu nguồn áp 7 mức 3 pha (Hình 2) thực ra là sự ghép nối của 3 sơ đồ 1 pha. Đầu ra của bộ biến đổi này là 3 điện áp lệch

pha nhau 120° , dạng điện áp ra nghịch lưu 7 mức 3 pha nối tăng cầu H (Hình 3).

$$u_A = 3E \sin(\omega t) \quad 2.1$$

$$u_B = 3E \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$u_C = 3E \sin(\omega t + 2\pi/3)$$



Hình 3. Dạng điện áp ra nghịch lưu áp 7 cấp 3 pha nối tăng cầu H

Để tạo ra điện áp 7 mức, phải có sự phối hợp đóng cắt các van trong từng cầu H ở mỗi pha. Ở mỗi sơ đồ cầu và tại mỗi thời điểm bất kỳ chỉ có 2 van dẫn, 2 van còn lại khóa. Việc điều khiển tạo điện áp 3 pha chỉ là dùng 3 sóng hình sin điều khiển lệch nhau 120° ở 3 pha. Khi $S_{11}, S_{21}, S_{12}, S_{22}, S_{13}, S_{23}$ dẫn, thì:

$$U_{h1} = U_{h2} = U_{h3} = E$$

$$\text{Nên } U_{AN} = U_{h1} + U_{h2} + U_{h3} = 3E$$

Tương tự $S_{31}, S_{41}, S_{32}, S_{42}, S_{33}, S_{43}$ dẫn, $U_{AN} = -3E$

Từ cấu trúc bộ nghịch lưu (Hình 2) và mô phỏng (Hình 3), có những nhận xét như sau:

- Điện áp tải cần sử dụng cao, nhưng điện áp ra nghịch lưu mỗi cầu lại nhỏ, điều này hạn chế được việc các van phải chịu điện áp quá cao, hơn nữa vẫn đáp ứng được nhu cầu của tải.
- Điện áp ra nghịch lưu có dạng bậc thang nhiều cấp, gần sóng sin hơn nghịch lưu cơ bản.

- Tần số đóng cắt nhỏ, thông thường dưới 1kHz.
- Dòng điện ra có méo dạng thấp, đây là ưu điểm lớn nhất của sơ đồ này.
- Phải sử dụng số lượng lớn các nguồn DC độc lập.
- Số lượng van đóng cắt cho hệ thống nhiều, việc điều khiển các van đóng cắt phức tạp, hệ thống linh kiện phụ trợ tăng cao khi tăng số mức. Với cấu trúc nối tăng cầu H 3 pha 7 mức cần sử dụng 36 van đóng cắt.

2.2. Phương pháp điều chế độ rộng xung PWM dịch pha sóng mang

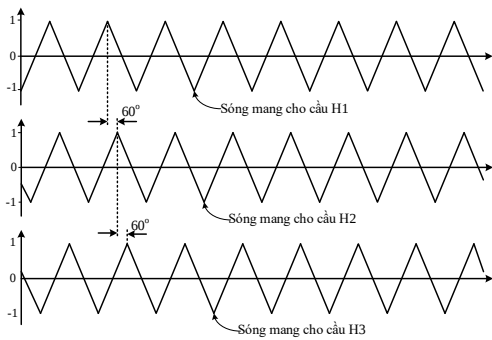
Theo phương pháp này, để tạo ra điện áp có N mức cần $(N-1)/2$ cầu H. Tất cả các cầu H trên cùng 1 pha đều tuân theo 1 sóng sin chuẩn. Số sóng mang bằng số cầu H, gồm M sóng. Các sóng mang này có đều có cùng tần số và cùng biên độ đỉnh. Tuy nhiên có sự dịch pha giữa 2 sóng liền kề một góc:

$$\varphi_{cr} = 360^\circ / (N - 1) \quad (2.2)$$

Hệ số điều chế tần số m_f và hệ số điều chế biên độ m_a .

$$m_f = \frac{f_{car}}{f_{ref}}; m_a = \frac{A_{ref}}{A_{car}} \quad (2.3)$$

Phạm vi bài báo này nghịch lưu 3 pha, điện áp ra mỗi pha có 7 mức, số cầu H ở mỗi pha là 3, do vậy cần sử dụng 3 tín hiệu răng cưa lệch nhau 60° ở 3 sơ đồ cầu H mỗi pha (Hình 4).



Hình 4. Điều chế sóng mang theo phương pháp dịch pha sóng mang

2.3. Cấu trúc điều khiển FOC cho động cơ KĐB-RLS trên tọa độ dq

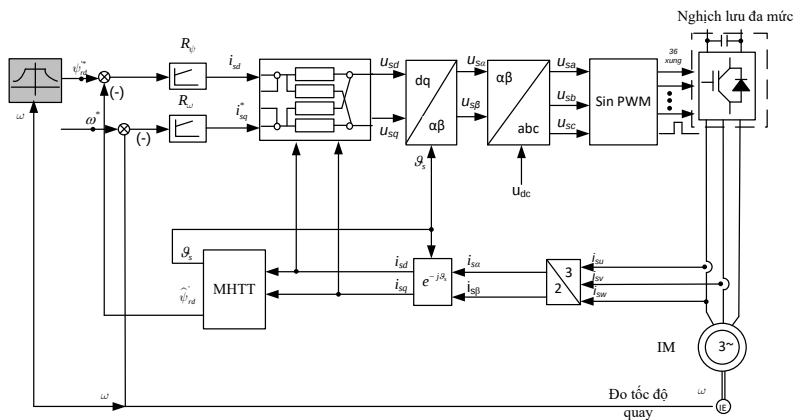
Phương pháp điều khiển FOC, cho phép điều khiển động IM giống như động cơ MC-

KTĐL, bởi vì do phép chuyển đổi tọa độ, đã tìm ra hai giá trị dòng điện điều khiển từ thông và mômen. Tọa độ dq là tọa độ quay, mô hình trạng thái động cơ IM xuất hiện thành phần tương tác phi tuyến. Nhưng hai đại lượng u_{sd} ; u_{sq} là đại lượng một chiều, có chứa ω_s . Mô hình trạng thái động cơ IM (4.1) [5] và [6]:

$$\begin{cases} \frac{di_{sd}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{sd} + \omega_s i_{sq} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\Psi'_{rd} \\ \quad + \frac{1-\sigma}{\sigma}\omega\Psi'_{rq} + \frac{1}{\sigma L_s}u_{sd} \\ \frac{di_{sq}}{dt} = -\omega_s i_{sq} - \left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{sd} - \frac{1-\sigma}{\sigma}\omega\Psi'_{rd} \\ \quad + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\Psi'_{rq} + \frac{1}{\sigma L_s}u_{sq} \\ \frac{d\Psi'_{rd}}{dt} = \frac{1}{T_r}i_{sd} - \frac{1}{T_r}\Psi'_{rd} + (\omega_s - \omega)\Psi'_{rq} \\ \frac{d\Psi'_{rq}}{dt} = \frac{1}{T_r}i_{sq} + (\omega_s - \omega)\Psi'_{rd} - \frac{1}{T_r}\Psi'_{rq} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$m_M = -\frac{3}{2}z_p(\bar{\Psi}'_r \times \bar{i}'_r) = \frac{3}{2}z_p \frac{L_m^2}{L_r}\Psi'_{rd}i'_{sq} \quad (2.5)$$

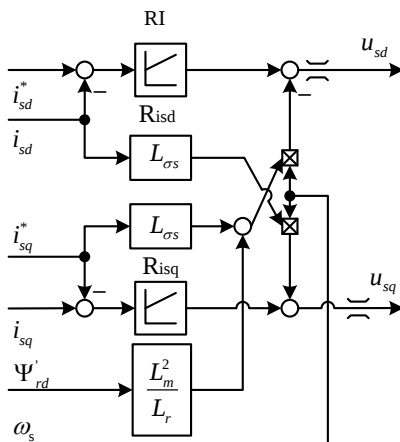
$$\Psi'_{rd} = \Psi_{rd} / L_m; \quad \Psi'_{rq} = \Psi_{rq} / L_m; \quad \omega_s - \omega = \omega_r \quad (2.6)$$



Hình 5. Cấu trúc điều khiển tựa theo từ thông rotor cho động cơ KĐB-RLS với nghịch lưu đa mức

2.4. Thiết kế bộ điều khiển dòng điện stator

Gồm 2 bộ điều khiển PI độc lập, điều khiển 2 thành phần dòng một chiều i_{sd}^* và i_{sq}^* kết hợp với mạch tính điện áp (MTu), có nhiệm vụ tính các thành phần điện áp u_{sd} và u_{sq} từ đại lượng đầu ra của 2 bộ PI. Khi tính, bộ RI sử dụng các đại lượng biến thiên chậm là từ thông rotor Ψ_{rd} và tốc độ quay. Do hai thành phần dòng có tác động lẫn nhau phụ thuộc vào ω_s , phải tiến hành khử tương tác. Bộ điều khiển dòng điện stator được thiết kế như Hình 6.



Hình 6. Cấu trúc bộ điều khiển dòng điện stator

Thông số bộ điều khiển dòng PI được tính toán và lựa chọn như sau:

$$K_{pi} = 30; T_i = 0,0247$$

Bên cạnh đó khi bộ điều khiển dòng điện đảm bảo nhanh, chính xác và không tương tác, thì bộ điều khiển dòng stator là khâu quán tính bậc nhất. Do đó việc thiết kế bộ điều khiển tốc độ và từ thông được thực hiện đơn giản, ở đây bài báo đưa ra được thiết kế bộ điều khiển PI, được tính toán lựa chọn như sau:

Bộ điều khiển tốc độ:

$$K_{p\omega} = 14; T_{i\omega} = 0,3$$

Bộ điều khiển từ thông

$$K_{p\psi} = 14,5; T_{i\psi} = 0,4117$$

3. Kết quả mô phỏng

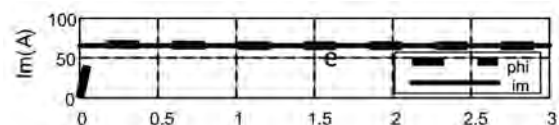
BẢNG 2. Bảng thông số mô phỏng

Thông số động cơ	Ký hiệu	Giá trị
Công suất định mức	Pnom	1 MW
Tốc độ định mức	nnom	3000 vg/ph
Dòng điện định mức	Inom	165 ARMS
Mômen định mức	Mdm	$6 \cdot 10^{-3}$ Nm
Điện áp một chiều	UDC	4000 V
Số đôi cực	zp	1
Điện trở rotor	Rr	0,5116 Ω
Điện trở stator	Rs	0,6 Ω
Điện cảm rotor	Lr	0,0104 H
Điện cảm stator	Ls	0,0216 H
Hỗ cảm	Lm	0,24 H
Hệ số công suất	cos ϕ	0,9
Hệ số từ tản toàn phần	σ	0,07
Hằng số thời gian	Tr/Ts (s)	0,4117/0,0247
Mô-men quán tính	J	0,01gm ²

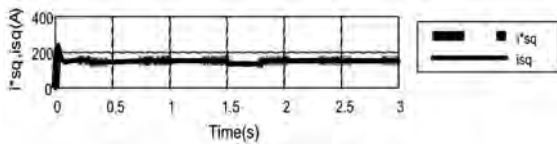
3.1. Tải nâng hạ

$$M_c = M_{dm} = \text{const}$$

Bộ điều khiển triệt dòng điện hoạt động tốt, đã triệt tiêu được sai lệch tĩnh. Dòng từ hóa i_{sd}^* cố định, còn dòng tạo momen i_{sq}^* có sự thay đổi dao động tại điểm đảo chiều quay (Hình 7 và Hình 8).

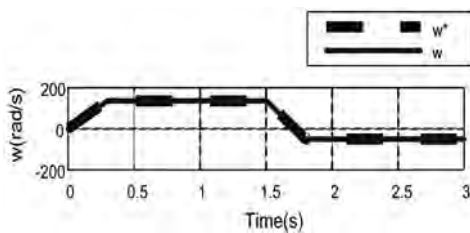


Hình 7. Đáp ứng dòng điện i_{sd}^* và i_{sq}

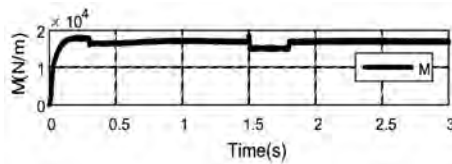


Hình 8. Đáp ứng dòng điện i_{sq}^* và i_{sq}

Tốc độ đã bám đúng theo giá trị đặt, sai lệch tĩnh bị triệt tiêu, bộ điều khiển thực hiện đúng yêu cầu đảo chiều. Do có mômen tải nên ban đầu động cơ sẽ bị kéo ngược lại so với giá trị mong muốn (Hình 9, Hình 10).

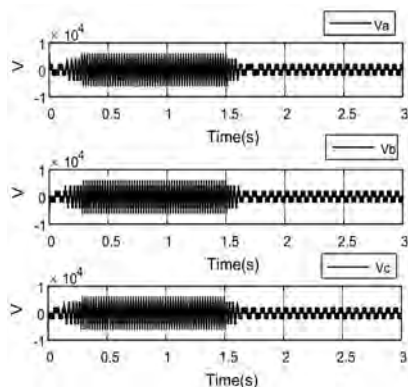


Hình 9. Đáp ứng tốc độ đặt và thực w^* và w

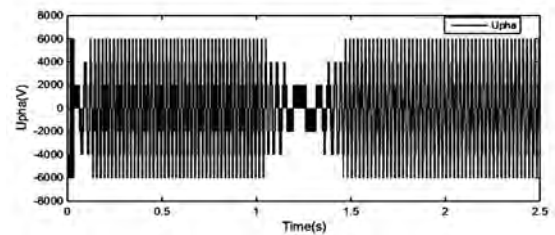


Hình 10. Đáp ứng mômen động cơ KĐB-RLS

Bộ nghịch lưu đa mức đã tạo ra đúng điện áp mong muốn. Tại thời điểm đảo chiều điện áp 3 pha có sự biến động (Hình 11), và tại pha a (Hình 12).

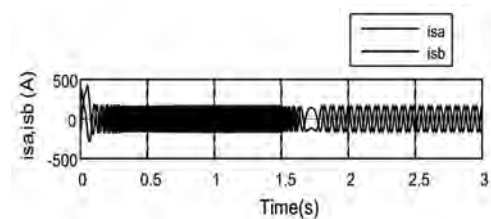


Hình 11. Đáp ứng điện áp U_a, b, c



Hình 12. Đáp ứng điện áp U_{sa}

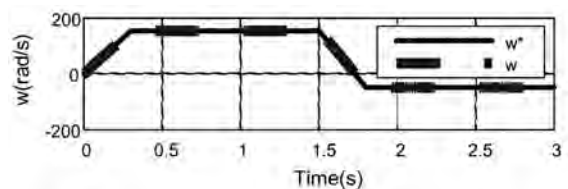
Dòng điện khởi động trong khoảng cho phép của động cơ. Dòng điện có dạng hình sin (Hình 13).



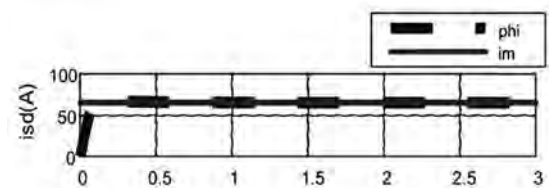
Hình 13. Đáp ứng dòng điện i_a, b

3.2. Tải quạt gió

Với hệ thống tải quạt gió ta nhận thấy bộ điều khiển tốc độ và từ thông vẫn cho đầu ra bám với giá trị đặt, sai lệch tĩnh bị triệt tiêu (Hình 14, Hình 15).

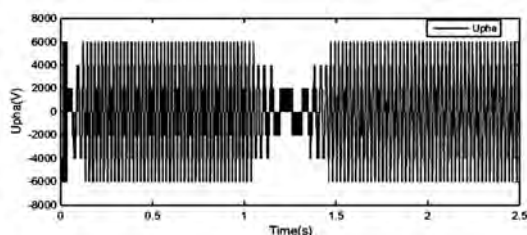


Hình 14. Đáp ứng tốc độ đặt và thực w^* và w



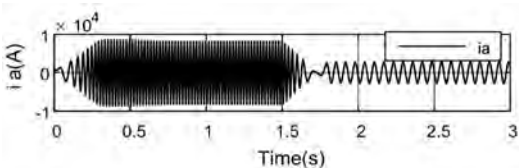
Hình 15. Đáp ứng từ thông

Điện áp pha của bộ nghịch lưu giống như mong muốn (Hình 16).



Hình 16. Điện áp pha a

Dòng điện có dạng hình sin và giá trị gần đúng với tính toán (Hình 17).



Hình 17. Đáp ứng dòng điện pha a

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu thiết kế, điều khiển bộ nghịch lưu nguồn áp 7 mức và ứng dụng bộ này cho truyền động KĐB công suất lớn, theo nguyên lý tựa theo từ thông rotor, đã mang lại kết quả rất khả quan. Đó là khi bộ điều khiển dòng đảm bảo điều kiện nhanh, chính xác và không tương tác, thì hệ thống truyền động FOC ứng dụng cho tải nâng hạ, quạt gió có đáp ứng truyền động tốt, đúng với yêu cầu công nghệ. Bên cạnh đó chất lượng đầu ra của bộ nghịch lưu 7 mức có chất lượng tốt: điện áp ra có dạng bậc (7 bậc) để giảm điện áp rơi trên van bán dẫn, tần số chuyển mạch thấp, nên tổn thất hệ thống nhỏ. Đây là sự gợi mở một hướng nghiên cứu mới cho hệ truyền động KĐB, khi bộ điều khiển dòng

kết hợp với nghịch lưu nguồn áp đa mức. Để hoàn thiện mảng tìm ra các cấu trúc tối ưu điều khiển động cơ IM.

Ngoài ra, các kết quả nghiên cứu của bài báo cũng là tài liệu tốt, cung cấp phương pháp luận tốt giúp cho các kỹ sư vận hành hệ thống biến tần đa mức thương mại khai thác hiệu quả thiết bị.

Tài liệu tham khảo

- [1] Trần Trọng Minh (2007), Giáo trình Điện tử công suất, Nhà xuất bản Giáo dục.
- [2] Nguyễn Phùng Quang (2015), Điều khiển truyền động điện xoay chiều ba pha, Nhà xuất bản Bách Khoa Hà Nội.
- [3] Bin Wu (2006) "High-Power Converters and AC Drives", Wiley-IEEE Press, Chapter 7.
- [4] Bose, B.K. (2011), Control and Estimation Techniques of High Power Variable Speed AC Drives, IEEE Power Electronics Society Newsletter, Fourth Quarter 2011, pp. 31-38.
- [5] Leonhard W (1996) Control of Electrical Drives, 2nd edition, Springer.
- [6] Nikolaus P. Schibli, Tung Nguyen, and Alfred C. Rufer, A Three-Phase Multilevel Converter for.
- [7] High-Power Induction Motors, IEEE transaction on power electronic, vol 13 no.5, September.
- [8] Quang NP, Dittrich JA (2015) Vector control of three-phase AC machines – System development in the practice. 2nd edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [9] Teresa Otowska-Kowalska, Frede Blaabjerg, Jose Rodriguez Edition (2014), Advanced and Intelligent control in power electronics and drives, Springer.
- [10] Rodriguez, J., Bernet, S., Wu, B., Pontt, J., and Kouro, S. (2007). Multilevel voltage-source converter topologies for industrial medium-voltage drives. IEEE Trans. Ind. Electron, vol. 54, no. 6, pp. 2930-2945, Dec, 2007.

RESEARCH THE APPLICATION OF MULTI LEVEL INVERTERS FOR HIGH POWER ELECTRICAL DRIVE SYSTEMS

¹Tran Duy Hung, ¹Pham Tuan Hai, ²Mai Van Chung, ²Tran Trung Dung

¹*Military industrial College*

²*Hung Vuong University*

SUMMARY

High power electrical drive systems are used widely in Vietnam and worldwide industrial applications such as: induced draft fan in cement industry, water pumping systems..., the drives are powered by multi level inverters which allow low switching losses. The paper presents FOC control of an induction motor fed from a 7-level H-bridge inverters applied in pumping/fan and hoisting systems. Simulation results on the drive characteristics and stator voltage wave form show the effectiveness of the proposed control structure.

Keywords: *Multi level inverter, high power electrical drive, FOC, 7-level H- bridge inverters.*