

Khảo sát và phân phối lại nhiệt tiêu hao trên các IGBT trong biến tần ba bậc bằng phương pháp điều khiển trực tiếp mô-men lực

Investigation and redistribution the loss of IGBTs in the Three-level Neutral Point Clamped (3L-NPC) inverter with Direct Torque Control technique (DTC)

Nguyễn Huỳnh Anh Duy, Nguyễn Chí Ngôn

Bộ môn Tự Động Hóa, Khoa Công Nghệ, Trường Đại Học Cần Thơ

e-Mail: nhaduy@ctu.edu.vn, ncngon@ctu.edu.vn

Tóm tắt

Vấn đề tỏa nhiệt không đồng đều của các IGBT trong biến tần đa bậc dẫn đến sự giảm về khả năng hoạt động và tuổi thọ trung bình của biến tần trong công nghiệp. Bài báo này khảo sát công suất hao phí gây tỏa nhiệt của từng IGBT trong biến tần ba bậc (3L-NPC) và điều khiển động cơ không đồng bộ (ĐCKĐB) ba pha bằng phương pháp điều khiển trực tiếp mô-men lực (DTC). Phương án phân phối lại nhiệt từ các IGBT chịu ảnh hưởng nhiều nhất đến các IGBT còn lại bằng việc thay đổi cấu trúc điều khiển DTC sẽ được đề xuất và phân tích. Kết quả của thí nghiệm sẽ được kiểm tra và trình bày bằng mô phỏng trên MATLAB/Simulink.

Từ khóa: IGBT, biến tần 3L-NPC, điều khiển trực tiếp mô-men lực, nhiệt tiêu hao, MATLAB, Simulink.

Abstract

The unbalanced dissipation of heat from IGBTs in the multi-level inverters causes the degradation of their performance and the reduction of their lifetime during the industrial operation. In this paper, the heat of all IGBTs in the Three-level Neutral Point Clamped (3L-NPC) inverter will be investigated through the control of the induction machine using direct torque control (DTC) technique. The proposed strategy for redistributing the losses from the most stressed IGBTs to the others by modifying the DTC pattern will be analyzed and simulated. All results are presented graphically from the simulation by MATLAB/Simulink software.

Keywords: IGBT, 3L-NPC inverter, direct torque control, losses, MATLAB, Simulink.

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
n_{ref}	vòng/s	vận tốc tham chiếu của rotor
n_{rotor}	vòng/s	vận tốc thực của rotor
M_{ref}	Nm	mô-men tham chiếu
φ_{ref}	Wb	từ thông tham chiếu của stator
M_{est}	Nm	mô-men ước lượng
φ_{est}	Wb	từ thông ước lượng của stator
V_{NP}	V	điện áp điểm trung tính (neutral point)
u_a, u_b, u_c	V	điện áp ba pha tức thời (a-b-c)
i_a, i_b, i_c	A	dòng điện ba pha tức thời (a-b-c)
u_α, u_β	V	điện áp hai pha tức thời trên mặt phẳng α - β
i_α, i_β	A	dòng điện hai pha tức thời trên mặt phẳng α - β
p		số cặp cực

Chữ viết tắt

3L-NPC	Three-level Neutral Point Clamped
ALE	Active Lifetime Extension
CSĐC	Công suất đóng-cắt
CSĐĐ	Công suất dẫn điện
DC	Direct Current
DTC	Direct Torque Control
FOC	Field-oriented Control
ĐCKĐB	Động cơ không đồng bộ
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
NP	Neutral Point
VTKG	Véc-tơ không gian

1. Phần mở đầu

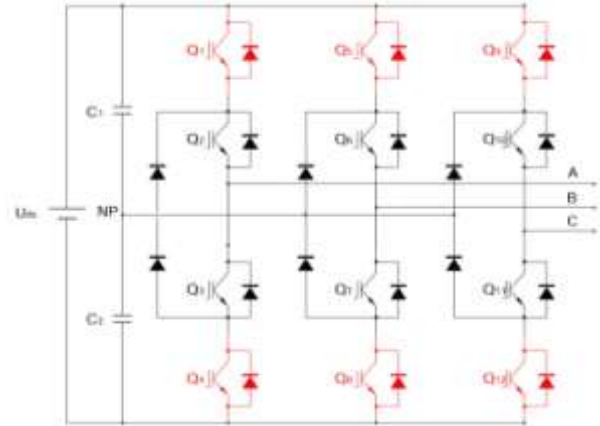
Biến tần 3L-NPC [1] là một trong các thiết bị phổ biến trong điều khiển ĐCKĐB ba pha ở các nhà máy sản xuất và công nghiệp. Các cảm biến hoặc các thiết bị hỗ trợ giám sát và bảo vệ biến tần cũng được áp dụng nhiều trong các hệ thống quan trọng để giảm thiểu khả năng hư hỏng của thiết bị do sự quá nhiệt không đồng đều từ các IGBT bên trong. Tuy nhiên, việc kết nối thêm các cảm biến với biến tần không phải là điều dễ dàng và làm tăng chi phí bảo trì, lắp ráp hệ thống.

Trong quá trình hoạt động, biến tần điều khiển động cơ với vận tốc và tải khác nhau làm cho nhiệt tỏa ra từ các IGBT không đồng đều nhau. Nhiệt lượng bắt nguồn từ hai thành phần chính bao gồm:

- Công suất đóng-cắt (CSĐC) là công suất tiêu hao năng lượng trong quá trình chuyển trạng thái đóng-mở (switching state).
- Công suất dẫn điện (CSĐĐ) là công suất gây cho mỗi nối bán dẫn bên trong linh kiện nóng lên trong suốt thời gian dẫn điện (conducting state).

Trong mỗi pha của biến tần, một số IGBT tần số đóng-mở cao hơn sinh ra nhiều nhiệt hơn so với các IGBT còn lại. Do đó, sự khác nhau về nhiệt là nguyên nhân của sự chênh lệch về tuổi thọ hoạt động của các linh kiện bên trong biến tần. Điều này làm cho tuổi thọ trung bình của biến tần lệ thuộc vào tuổi thọ của một hoặc một vài IGBT hoạt động với tần số cao nhất. Hệ thống trong nghiên cứu này được giả định rằng nhiệt độ từng IGBT được giám sát thông qua việc đo nhiệt độ trên bộ tản nhiệt gắn trực tiếp trên mỗi linh kiện. Sự khảo sát quá trình tỏa nhiệt và sự phân phối lại công suất được thực hiện ở trạng thái ổn định của hệ thống. Việc thay đổi một phần cấu trúc

điều khiển của DTC để điều tiết lại nhiệt lượng của các IGBT nhưng vẫn đảm bảo giá trị về mô-men lực, tốc độ rotor, đồng thời mức độ sai số của điện áp tại điểm trung tính V_{NP} ở mức tối thiểu để đảm bảo chất lượng dòng điện trên stator.

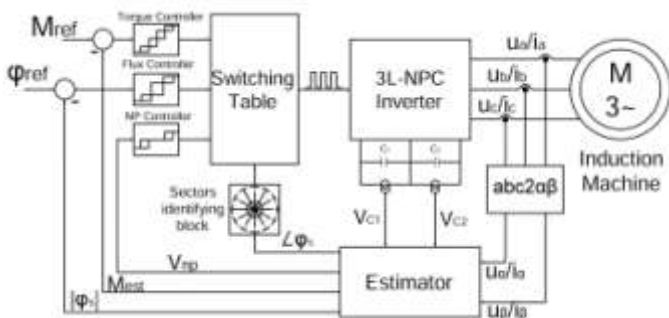


H. 1 Sơ đồ kết nối các linh kiện trong biến tần 3L-NPC

Một số phương pháp đã được đề xuất nhằm phân phối nhiệt giữa các linh kiện bán dẫn trong biến tần ba bậc đã được công bố. Trong [2] [3], [4] các tác giả đã đưa ra phương pháp phân phối nhiệt đồng bộ bằng cách thêm vào các IGBT mắc song với các đi-ốt nối với điểm trung tính. Nghiên cứu này không can thiệp vào cấu trúc phần cứng của biến tần mà điều chỉnh phần mềm điều khiển của DTC nhằm mục đích khảo sát và phân phối lại công suất tiêu hao từ những IGBT hoạt động với tần số cao hơn tới các IGBT có tần số thấp hơn. Sự điều tiết này kéo dài tuổi thọ hoạt động của các linh kiện và của biến tần một cách chủ động, còn được gọi là phương pháp ALE (Active Lifetime Extension). Phương pháp ALE đã áp dụng với kỹ thuật điều khiển định hướng từ thông rotor (FOC) được mô phỏng và thí nghiệm trên hệ thống thực và được công bố trong [5][6][7] với khả năng giảm đáng kể lượng nhiệt từ các IGBT hoạt động tần số cao (các IGBT bên ngoài các pha như Q1, Q4, Q5, Q8, Q9, Q12 theo hình H. 1) nhưng vẫn đảm bảo được sự cân bằng của điện áp V_{NP} và chất lượng ngõ ra của hệ thống.

2. Nội dung chính

2.1 Phương pháp điều khiển trực tiếp mô-men lực (DTC)



H. 2 Sơ đồ nguyên lý điều khiển ĐCKĐB ba pha với DTC

DTC là phương pháp điều khiển phổ biến cho các ĐCKĐB với công suất trung bình và nhỏ. Hiện nay các hệ thống tuabin gió dùng trong công nghệ năng lượng sạch sử dụng rộng rãi phương pháp điều khiển này do đặc tính đơn giản về cấu trúc và khả năng đáp ứng cao về tốc độ và mô-men quay của động cơ. Phương pháp DTC có hai chế độ: điều khiển mô-men (torque mode) và điều khiển tốc độ (speed mode).

- Trong chế độ điều khiển mô-men, từ thông (flux) và mô-men (torque) là hai đối tượng chính được điều khiển.
- Trong chế độ điều khiển tốc độ, vận tốc trục động cơ và từ thông là hai đối tượng được điều khiển, tuy nhiên bộ điều khiển PI được bổ xung trong chế độ này và ngõ ra của bộ điều khiển chính là giá trị mong muốn của mô-men lực.

Các thành phần chính trong hệ thống với DTC:

Hình H. 2 biểu diễn sơ đồ nguyên lý của hệ thống dùng phương pháp điều khiển DTC (chế độ torque mode) với các thành phần chính sau:

- Bộ điều khiển trễ (Hysteresis controller): bộ điều khiển chính với ngõ ra năm bậc cho mô-men lực và bốn bậc cho từ thông trong DTC.
- Bộ ước lượng (Estimator): tính toán giá trị của độ lớn của mô-men lực, độ lớn và vị trí tức thời của véc-tơ từ thông của stator được xác định bằng các công thức toán học từ mô hình toán của động cơ. Các giá trị của bộ ước lượng được quy đổi về mặt phẳng α - β theo bộ công thức (1) [8].

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_{\alpha} = \int (u_{s\alpha} - R_s i_{s\alpha}) dt \\ \varphi_{\beta} = \int (u_{s\beta} - R_s i_{s\beta}) dt \\ |\varphi_s| = \sqrt{\varphi_{\alpha}^2 + \varphi_{\beta}^2} \\ \angle \varphi_s = a \tan \frac{\varphi_{\beta}}{\varphi_{\alpha}} \\ M_{est} = \frac{3}{2} p [\varphi_{\alpha} i_{\beta} - \varphi_{\beta} i_{\alpha}] \end{array} \right. \quad (1)$$

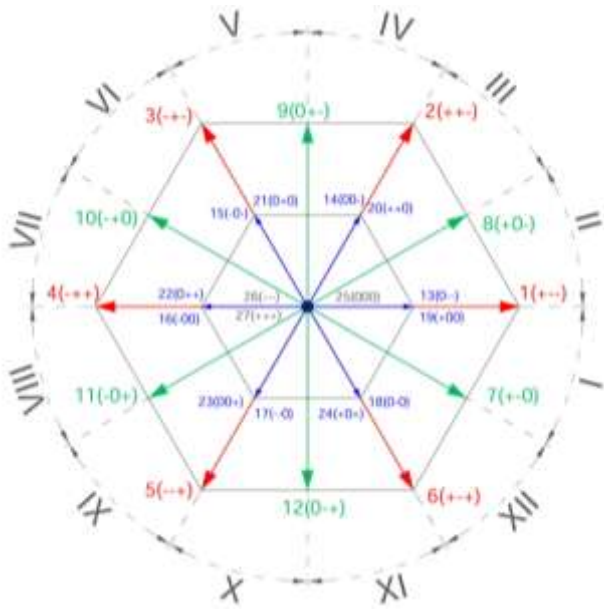
- Bộ biến đổi giá trị điện áp ($abc2\alpha\beta$): theo nguyên lý cơ bản của DTC, các biến phải được tính toán trong hệ quy chiếu cố định (stationary coordinate α - β) gắn với stator của động cơ.
- Bảng chọn véc-tơ (Switching Table): nhận tín hiệu của các bộ điều khiển để chọn lựa các véc-tơ không gian (VTKG) phù hợp nhất cung cấp biến tần để điều khiển động cơ.
- Mô hình biến tần ba bậc (3L-NPC Inverter): nhận xung điều khiển từ bảng chọn véc-tơ để đóng cắt các IGBT tương ứng để điều khiển điện áp ba pha của ĐCKĐB.
- Bộ điều khiển ba bậc cho điện áp điểm trung tính (NP Controller): trong biến tần ba bậc, vấn đề điều

hiển điện áp V_{NP} cần được chú ý để đảm bảo chất lượng dòng điện ở stator động cơ.

2.2 Nguyên lý điều khiển của DTC cho biến tần 3L-NPC

Biến tần được điều khiển từ tính hiệu đóng ngắt các IGBT dưới hình thức là các VTKG (space voltage vectors). Mỗi véc-tơ sẽ tương ứng với một chuỗi xung có tác động đồng thời lên trạng thái toàn bộ 12 IGBT trong biến tần. Đáp ứng của mô-men lực và tốc độ ở trục động cơ sẽ khác nhau với các véc-tơ điện áp khác nhau.

Hình H. 3 biểu diễn sự phân bố tổng số 27 VTKG có thể điều khiển với biến tần 3L-NPC, trong đó có 6 véc-tơ lớn được đánh số từ 1 đến 6 tương ứng màu đỏ, 6 véc-tơ trung bình với số thứ tự từ 7 đến 12 với màu xanh lá, 12 véc-tơ nhỏ màu xanh dương và 3 véc-tơ zero (có độ lớn bằng 0). Các véc-tơ được phân bố trên mặt phẳng α - β gồm 12 vùng (sectors) bằng nhau được đánh số từ I tới XII theo ngược chiều kim đồng hồ. Trong đó, 12 véc-tơ nhỏ chia ra làm 6 cặp véc-tơ có cùng độ lớn và pha (Ví dụ: cặp véc-tơ 20/14, 19/13...). Các cặp véc-tơ nhỏ còn có thêm chức năng điều khiển điện áp ở điểm trung tính V_{NP} sao cho giá trị này có giá trị nhỏ nhất (tương đương 0V) ở trạng thái cân bằng.



H. 3 Sơ đồ phân bố VTKG của biến tần 3L-NPC

Nguyên lý chọn lựa VTKG của DTC:

Bảng B. 2 trình bày bảng chọn véc-tơ điện áp cho ngõ ra của bộ điều khiển trẻ cho từ thông (OUT_F), mô-men (OUT_T) và V_{NP} (NP), mỗi véc-tơ được chọn tương ứng dựa trên sự kết hợp giữa các ngõ ra của cả ba bộ điều khiển trẻ và vị trí tức thời của véc-tơ từ thông stator tại một vùng nào đó. Mỗi cặp véc-tơ nhỏ được lựa chọn thông qua sự kết hợp giữa chiều của dòng điện chạy vào điểm trung tính I_{NP} và ngõ ra của bộ điều khiển trẻ (NP Controller). Bảng B. 1 biểu diễn phương pháp chọn véc-tơ nhỏ theo nguyên lý trên:

B. 1 Mối liên hệ giữa ngõ ra bộ điều khiển NP Controller và chiều dòng điện I_{NP}

Ngõ ra của bộ điều khiển NP	Chiều của I_{NP}	NP
+1	+	+1
	-	-1
0	x	X
-1	+	-1
	-	+1

2.3 Khảo sát công suất tiêu hao trên các IGBT trong biến tần 3L-NPC

Như đã thảo luận ở phần trên, các cặp véc-tơ nhỏ (Ví dụ: cặp 20/14) tạo ra cùng một giá trị về độ lớn của mô-men lực và từ thông của stator động cơ. Tuy nhiên, sự ảnh hưởng một trong hai véc-tơ này đối lập nhau về việc cân bằng giá trị điện áp tại điểm trung tính (V_{NP}). Giá trị này càng lớn thể hiện sự mất cân bằng giữa điện áp của hai tụ điện ở nguồn cấp cho biến tần càng cao. Điều này làm cho điện áp đặt vào các IGBT bị chênh lệch nhau rất lớn, sự tỏa nhiệt của một số IGBT cũng trở nên nghiêm trọng hơn. Việc xem xét đến sự điều khiển tối thiểu hóa giá trị điện áp V_{NP} vô cùng quan trọng đối với biến tần 3L-NPC.

Nhiệt tỏa ra của các IGBT chủ yếu từ CSĐC và CSĐĐ, có hai phương pháp chính để làm giảm công suất về nhiệt tiêu hao cho các IGBT:

- Phương pháp 1: dùng các véc-tơ nhỏ làm giảm CSĐĐ nhưng làm tăng CSĐC.
- Phương pháp 2: đánh đổi sự giảm CSĐC của IGBT với sự tăng của CSĐĐ.

Từ kết quả thí nghiệm của [5][6], phương pháp 2 là sự lựa chọn hợp lý hơn trong điều kiện động cơ hoạt động với vận tốc cao. Bài báo này chỉ đề cập đến việc điều phối nhiệt ở các IGBT chịu nhiều áp lực do tần số đóng mở lớn khi động cơ hoạt động ở vận tốc cao (vận tốc và tải hoạt động bằng hoặc lớn hơn 60% vận tốc và tải định mức của động cơ).

2.4 Cách tính công suất tiêu hao

Nghiên cứu này sử dụng công thức tính trung bình công suất tiêu hao dựa trên các thông số chính cung cấp từ nhà sản xuất (datasheet) và dòng điện tiêu thụ được đo tại mỗi thời điểm hoạt động của IGBT, được công bố bởi [5] và [6].

2.4.1 Công suất tiêu hao trung bình trong quá trình dẫn điện

$$P_{conduct} = u_{CE} \cdot i_C = (u_{CE,0} + r_{CE} \cdot i_C) \cdot i_C \tag{2}$$

Trong đó:

u_{CE} : điện áp ở hai đầu cực góp (Collector) và cực phát (Emitter) của IGBT.

i_C : dòng điện chạy qua IGBT trong quá trình dẫn điện.

r_{CE} : điện trở nội giữa hai cực góp và phát - giá trị này được lấy từ đường đặc trưng của IGBT trong datasheet.

2.4.2 Công suất tiêu hao trung bình ở trạng thái đóng-mở

Năng lượng trung bình ở mỗi lần chuyển trạng thái được tính bằng công thức:

$$E_{switching} = E_{switching,0} \cdot \frac{1}{2} \frac{U_{dc}}{U_{base}} \cdot \frac{i_c}{I_{C,base}} \quad (3)$$

Trong đó:

$E_{switch,0}$: năng lượng cơ sở trung bình cần thiết cho việc chuyển trạng thái ON- hay OFF-, giá trị được cung cấp từ datasheet.

U_{dc} : điện áp nguồn DC cấp cho biến tần.

U_{base} ; $I_{C,base}$: điện áp và dòng điện cơ sở cho hoạt động đóng-ngắt của IGBT.

Công suất trung bình được tính bằng năng lượng tiêu hao khi đóng hoặc cắt trạng thái xảy ra trên một đơn vị thời gian. Do việc điều khiển biến tần với phương pháp DTC có thời hằng là $T_{sampling} = 25\mu s$, công suất tiêu hao này được tính bằng:

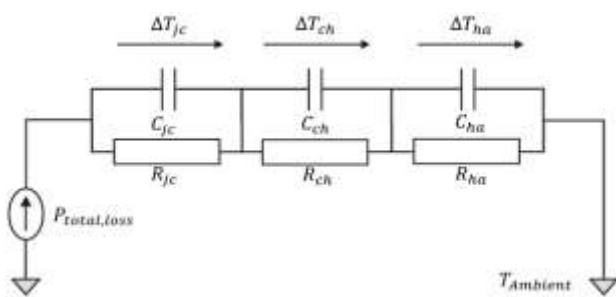
$$P_{switching} = \frac{E_{switching}}{T_{sampling}} \quad (4)$$

Tổng công suất tiêu hao từ một IGBT trong quá trình hoạt động:

$$P_{total} = P_{conduct} + P_{switching} \quad (5)$$

Đối với các đi-ốt hồi năng mắc ngược và song song với IGBT, công suất tiêu hao cũng tính toán tương tự bằng các công thức từ (2-5).

Mối liên hệ giữa công suất trung bình tiêu hao với nhiệt lượng tỏa ra đã được phân tích trong [5] với mô hình phân phối nhiệt như hình H. 4.



H. 4 Mô hình nhiệt của một IGBT

Công thức tính nhiệt lượng trung bình cho mỗi linh kiện:

$$T_{junction} = \Delta T_{jc} + \Delta T_{ch} + \Delta T_{ha} + T_{Ambient} \quad (6)$$

Trong đó: jc , ch and ha là viết tắt của *junction-to-case*, *case-to-heatsink* và *heatsink-to-ambient*, đại diện cho nhiệt lượng tỏa ra từng khu vực từ mỗi nối bên trong linh kiện bán dẫn ra đến bên ngoài môi trường [5]. Trong thực tế, chỉ có thể đo được nhiệt độ trên tản nhiệt gắn với mỗi IGBT; do đó, việc kiểm tra sự thay đổi trong công suất tiêu hao sẽ thông qua sự thay đổi từ nhiệt độ đo trên tản nhiệt ở mỗi linh kiện.

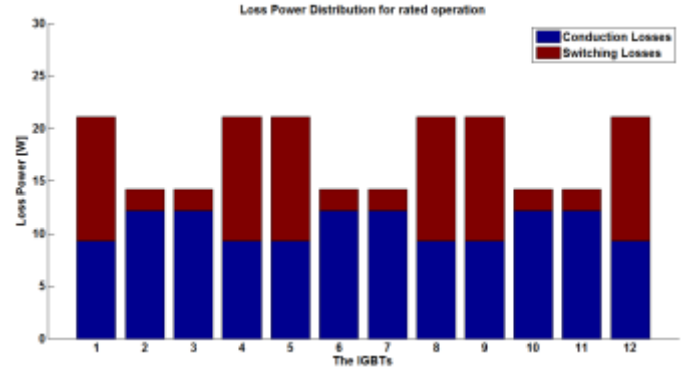
Mối quan hệ giữa công suất tiêu hao trung bình và nhiệt độ đo được:

$$P_{total} \approx \frac{\Delta T_{ha}}{R_{ha}} \quad (7)$$

Trong đó R_{ha} là giá trị nhiệt điện trở của tản nhiệt, giá trị này được cung cấp từ nhà sản xuất.

2.5 Kết quả mô phỏng

Việc khảo sát sự phân phối nhiệt lượng dựa trên công suất tiêu hao của từng IGBT bên trong biến tần 3L-NPC dùng phương pháp điều khiển DTC được mô phỏng trên MATLAB/Simulink. Phương pháp mô phỏng này dựa trên thực nghiệm tương tự với cùng thông số hệ thống theo bài báo [5] và [6] (các thông số được trình bày trong bảng B. 3). Do đó, kết quả mô phỏng của toàn hệ thống, mô hình nhiệt và sự tính toán công suất trung bình như trên là chính xác.



H. 5 Công suất tiêu hao của các IGBT trong biến tần 3L-NPC

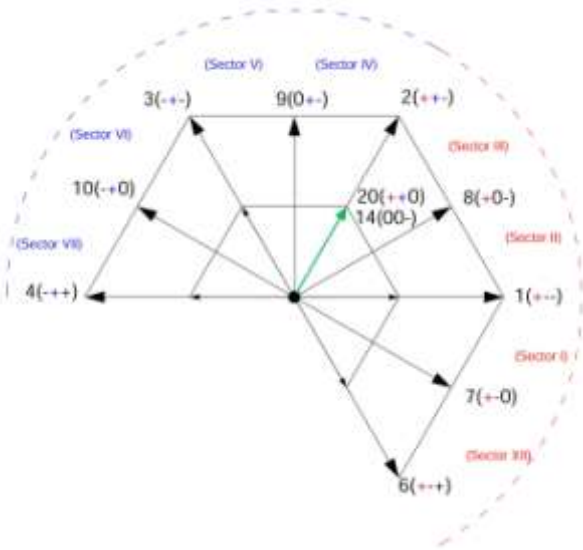
2.5.1 Khảo sát sự phân phối nhiệt theo công suất tiêu hao trên toàn bộ 12 IGBT trong biến tần 3L-NPC

Hình H. 5 trình bày kết quả mô phỏng công suất tiêu hao trung bình của 12 IGBT khi ĐCKĐB hoạt động ở tốc độ và tải định mức. Tổng công suất hao phí của mỗi IGBT được trình bày bởi một cột có hai thành phần bao gồm CSĐC (màu đỏ) và CSĐĐ (màu xanh). Theo như giả định phần trước, các cặp IGBT bên ngoài: 1-4, 5-8, 9-12 ở ba pha có công suất tiêu hao trung bình lớn hơn các cặp ở giữa. Sự chênh lệch này phần lớn do tần số đóng-cắt của các IGBT bên ngoài cao hơn nhiều so với các IGBT ở giữa trong mỗi pha. Ngược lại, các IGBT bên trong có CSĐĐ cao hơn nhưng tổng công suất tiêu hao vẫn không quá lớn.

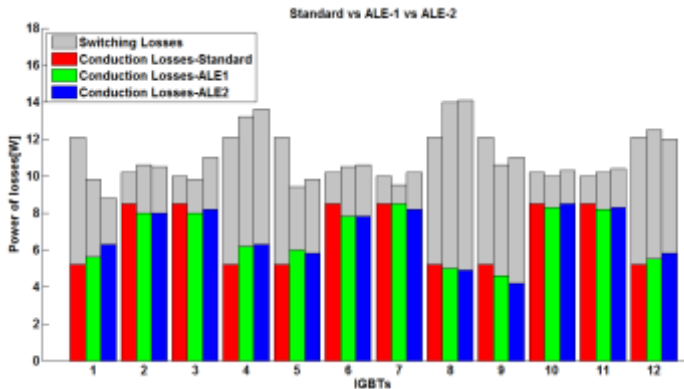
Nghiên cứu này tập trung việc giảm CSĐC của các IGBT bên ngoài, điển hình khảo sát trạng thái nhiệt của IGBT 1, để giảm thiểu áp lực do tỏa nhiệt cao và phân phối lại công suất này cho các IGBT khác trong điều kiện hoạt động ổn định của hệ thống.

2.5.2 Đề xuất phương pháp phân phối lại công suất tiêu hao từ IGBT 1 đến các IGBT khác

Để giảm công suất tiêu hao do đóng-cắt trên IGBT 1 cần phải giảm tần số đóng-mở tối đa của linh kiện này. Khảo sát trên mặt phẳng phân bố VTKG điều khiển cho biến tần 3L-NPC, chú ý đến véc-tơ nhỏ 20(++0) có mức độ ảnh hưởng đến tần số đóng-mở của IGBT 1 và IGBT 5. Theo hình H. 6, đối với các véc-tơ lớn bên ngoài thuộc các vùng từ XII đến III, pha A luôn nối với cực dương của nguồn DC (theo cấu hình ++x). Cấu trúc kết nối cũng tương tự đối với pha B (x+x) cho các vùng từ IV đến VII. Quy luật lựa chọn các VTKG từ bảng chọn của DTC là ngẫu nhiên, khi muốn tăng số lần xuất hiện một VTKG nào đó cần thay thế véc-tơ nhỏ đối ứng cùng pha và biên độ với nhau (trong trường hợp này là véc-tơ 20 và 14).



H. 6 Ảnh hưởng của véc-tơ 20(+++) đến IGBT 1 và IGBT 5



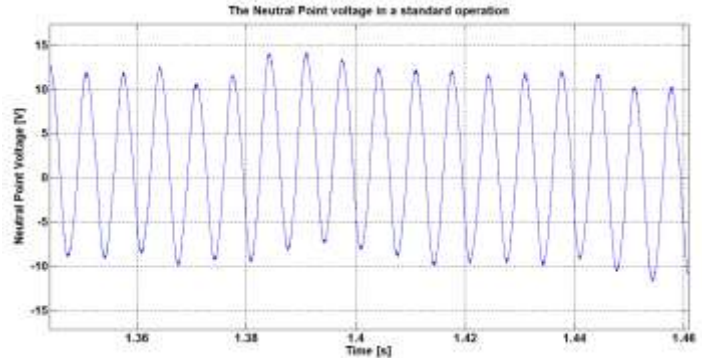
H. 7 So sánh công suất tiêu hao khi áp dụng ALE-1 và ALE-2

Bảng B. 2 biểu diễn các vị trí của véc-tơ 14 trong vùng chẵn (sector II, IV, VI, VIII, X và XII) đã được thay bằng véc-tơ 20 (màu đỏ) nhằm tăng khả năng xuất hiện véc-tơ này cho phương pháp ALE-1. Đối với ALE-2, các vùng lẻ (I, III, V, VII, IX và XI) sẽ được thay đổi như ALE-1. Hai phương pháp điều chỉnh này được mô phỏng và nhiệt được so sánh chung với chế độ hoạt động bình thường của DTC như hình H. 7. Biểu đồ thể hiện kết quả mô phỏng giá trị công suất trung bình trước và sau khi áp dụng ALE trong điều khiển DTC. Các cột màu xám đại diện cho CSĐC, cột màu đỏ thể hiện CSĐĐ ở hoạt động bình thường (Standard), cột xanh lá và xanh dương biểu diễn giá trị CSĐĐ sau khi áp dụng luật ALE-1 và ALE-2 tương ứng.

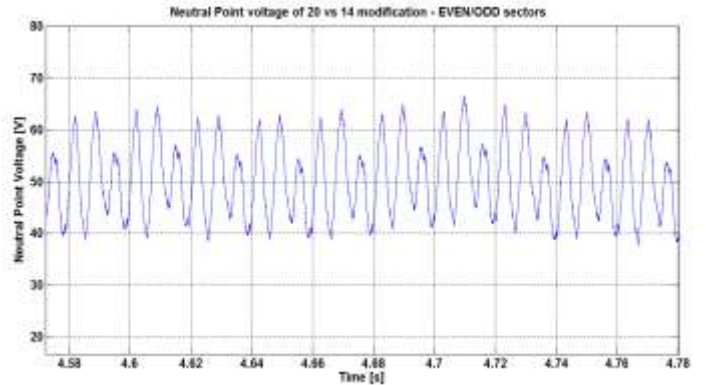
Tổng công suất tiêu hao trên IGBT 1 và IGBT 5 giảm khoảng 17% và 20%. Ngược lại, hao phí sinh ra trên IGBT 4 và IGBT 8 lại tăng lên sấp xỉ tương ứng 10% và 15% do sự phân phối từ IGBT 1 và IGBT 5. Các IGBT khác cũng có sự thay đổi về nhiệt nhưng không đáng kể.

Hình H. 8 và H. 9 trình bày dạng sóng của V_{NP} ở điều kiện hoạt động chuẩn của DTC và sau khi áp dụng ALE-1. Sự mất cân bằng của V_{NP} do sự thay đổi véc-tơ 14 thay bằng véc-tơ 20 như trong bảng B. 2. Điện áp V_{NP} khi áp dụng ALE-1 đã bị

lệch và dao động khoảng 50V do sự cân bằng của hai tụ điện tại điểm NP đã bị mất điều khiển. Tuy nhiên, các vùng còn lại vẫn được duy trì nhằm giảm thiểu sự mất cân đối này. Do đó, cần có sự tính toán chính xác về thời điểm áp dụng ALE để điều tiết nhiệt cho IGBT để giảm thiểu tối đa sự mất cân bằng tại điểm NP và đảm bảo chất lượng ngõ ra của hệ thống.



H. 8 Dạng sóng đo được tại V_{NP} khi hệ thống hoạt động theo tiêu chuẩn của DTC



H. 9 Dạng sóng tại V_{NP} khi hệ thống hoạt động với ALE-1

3. Kết luận

Nhiệt lượng tỏa ra từ các IGBT trong biến tần 3L-NPC đã được khảo sát qua mô phỏng hệ thống điều khiển ĐCKĐB ba pha với DTC. Phương pháp phân phối nhiệt ALE đã được áp dụng để điều tiết áp lực về công suất tiêu hao từ các IGBT hoạt động với tần số đóng-cắt cao. Kết quả đạt được cho thấy lượng nhiệt đã giảm nhiều ở một vài IGBT được chỉ định nhưng sự chênh lệch ở điện áp điểm trung tính NP vẫn còn khá cao. Ta có thể giảm mức điện áp V_{NP} bằng cách giảm tần xuất thay thế của cặp véc-tơ 20/14 trong bảng chọn VTKG, tuy nhiên lượng nhiệt ở IGBT 1 và 5 sẽ ở mức cao hơn như trình bày trong thí nghiệm ở phần trên. Sự đánh đổi về việc giảm lượng nhiệt với sự mất cân bằng điện áp của hai tụ điện sẽ được xem xét kỹ ở một mức độ nào đó tùy thuộc vào điều kiện hoạt động của động cơ. Ví dụ: khi ĐCKĐB hoạt động ở tải thay đổi, làm cho các bộ điều khiển trở có đáp ứng khác nhau sẽ khó dự đoán được các VTKG được chọn và hiệu quả của ALE cũng khác nhau ở các điểm hoạt động khác nhau của hệ thống.

Phụ lục

B. 2 Bảng chọn véc-tơ được điều chỉnh theo ALE-1

OUT_F	OUT_T	NP	Sectors												
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
+2	+2	x	2	9	3	10	4	11	5	12	6	7	1	8	
	+1	+1	20	20	15	15	22	22	17	17	24	24	13	13	
		-1	14	20	21	21	16	16	23	23	18	18	19	19	
	0	+1	13	13	20	20	15	15	22	22	17	17	24	24	
		-1	19	19	20	20	21	21	16	16	23	23	18	18	
	-1	+1	24	24	13	13	20	20	15	15	22	22	17	17	
		-1	18	18	19	19	14	20	21	21	16	16	23	23	
	-2	x	12	6	7	1	8	2	9	3	10	4	11	5	
	+1	+2	x	2	9	3	10	4	11	5	12	6	7	1	8
		+1	+1	20	20	15	15	22	22	17	17	24	24	13	13
-1			14	20	21	21	16	16	23	23	18	18	19	19	
0		+1	25												
		-1	25												
-1		+1	24	24	13	13	20	20	15	15	22	22	17	17	
		-1	18	18	19	19	14	20	21	21	16	16	23	23	
-2		x	12	6	7	1	8	2	9	3	10	4	11	5	
-1		+2	x	9	3	10	4	11	5	12	6	7	1	8	2
		+1	+1	15	15	22	22	17	17	24	24	13	13	20	20
	-1		21	21	16	16	23	23	18	18	19	19	14	20	
	0	+1	25												
		-1	25												
	-1	+1	17	17	24	24	13	13	20	20	15	15	22	22	
		-1	23	23	18	18	19	19	14	20	21	21	16	16	
	-2	x	5	12	6	7	1	8	2	9	3	10	4	11	
	-2	+2	x	9	3	10	4	11	5	12	6	7	1	8	2
		+1	+1	15	15	22	22	17	17	24	24	13	13	20	20
-1			21	21	16	16	23	23	18	18	19	19	14	20	
0		+1	22	22	17	17	24	24	13	13	20	20	15	15	
		-1	16	16	23	23	18	18	19	19	14	20	21	21	
-1		+1	17	17	24	24	13	13	20	20	15	15	22	22	
		-1	23	23	18	18	19	19	14	20	21	21	16	16	
-2		x	5	12	6	7	1	8	2	9	3	10	4	11	

B. 3 Thông số chính cần thiết cho tính toán hệ thống [6]

Thông số của biến tần 3L-NPC	U _{dc}	560V
	C _{dc}	4,4mF
	I _{rated}	40A (rms)
Thông số của ĐCKĐB Số hiệu: ABB M2AA160L4	P _{rated}	15kW
	U _{rated}	400V
	I _{rated}	31,1A
	n _{rated}	1455r/min
Thông số của linh kiện - IGBT (IXYS IXGR72N60A3H1)	V _{CE}	600V
	I _{C,110}	52A

Tài Liệu Tham Khảo

- [1] Rodriguez, J.; Bernet, S.; Steimer, P.K.; Lizama, I.E.; A Survey on Neutral-Point-Clamped Inverters, Industrial Electronics, IEEE Transactions on , vol.57, no.7, pp.2219-2230, July 2010.
- [2] T. Bruckner, S. Bernet and H. Guldner, *The active NPC converter and its loss-balancing control*. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol.52, no.3, pp. 855-868, June 2005.
- [3] D. Andler, J. Weber, S. Bernet and J. Rodríguez, *Improved model predictive control with loss energy awareness of a 3L-ANPC voltage source converter*. Applied Electronics (AE), 2010 International Conference on , vol., no., pp.1-6, 8-9 Sept. 2010.
- [4] D. Floricau, E. Floricau and G. Gateau, *Three-level active NPC converter: PWM strategies and loss distribution*. Industrial Electronics, 2008. IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE, vol., no., pp.3333-3338, 10-13 Nov. 2008.
- [5] The-minh Phan; Riedel, G.; Oikonomou, N.; Pacas, M., *PWM for active thermal protection in three level neutral point clamped inverters*, ECCE Asia Downunder, 2013 IEEE , vol., no., pp.906,911, 3-6 June 2013.
- [6] The-minh Phan; Riedel, G.; Oikonomou, N.; Pacas, M., *PWM for active thermal protection in three level neutral point clamped inverters*, ECCE Pittsburgh, USA, 2014 IEEE, 14-18 September 2014.
- [7] The-minh Phan; Riedel, G.; Oikonomou, N.; Pacas, M., *Active Thermal Protection and Lifetime Extension in 3L-NPC-Inverter in the low Modulation Range*, APEC Charlotte, N.C., USA, 2015 IEEE, 15-19 March 2015.
- [8] Christian Stulz. (2010) *Antriebssysteme II*, Teil 3. ETH Zürich.



Nguyễn Huỳnh Anh Duy sinh năm 1987. Anh nhận bằng kỹ sư về Kỹ thuật Cơ Điện Tử của trường Đại học Cần Thơ năm 2009. Anh nhận bằng Thạc sỹ về Kỹ thuật Cơ Điện Tử của trường Đại Học Tổng Hợp Siegen, CHLB Đức năm 2015. Hiện anh là giảng viên của bộ môn Tự Động Hóa, Khoa Công Nghệ, trường Đại Học Cần Thơ. Hướng nghiên cứu chính là thiết kế hệ thống Cơ điện tử, kỹ thuật robot, điện tử công suất.



Nguyễn Chí Ngôn nhận bằng Kỹ sư Điện tử tại Trường Đại Học Cần Thơ năm 1996, bằng Thạc sỹ Kỹ thuật Điện tử tại Trường Đại Học Bách Khoa, Đại Học Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh năm 2001, và nhận bằng Tiến sỹ Kỹ thuật Điều khiển tại Trường Đại Học Tổng hợp Rostock, CHLB Đức năm 2007.

Tiến sỹ Nguyễn Chí Ngôn tham gia giảng dạy tại Trường Đại Học Cần Thơ từ năm 1996 đến nay. Hiện anh đang là Phó giáo sư Tự động hóa, Giám Đốc Trung Tâm Điện – Điện Tử và Trường Khoa Công Nghệ, Trường Đại Học Cần Thơ.