

ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ SỬ DỤNG BIẾN TẦN ĐA BẬC

Nguyễn Văn Nhờ và Nguyễn An Thuận

Khoa Điện- Điện tử, Đại học Bách khoa, Tp. Hồ Chí Minh, Việt nam

BẢN TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu một phương pháp mới trong điều khiển biến tần đa bậc. Đó là phương pháp điều chế vector không gian dùng sóng mang. Dựa trên cơ sở phân tích tương quan giữa SVPWM và sóng mang để thiết kế dạng sóng điều khiển tối ưu. Có nhiều hàm offset được giới thiệu. Kết quả phân tích cho thấy phương pháp common mode cực tiểu đạt những tính chất tối ưu về phân bố công suất tổn hao và có độ méo dạng một cách tương đối tương đương với phương pháp common mode trung bình. Bài báo đã thiết kế giải thuật mô phỏng cho điều chế độ rộng xung sử dụng phần mềm PSIM chuyên dụng, trong đó bộ điều chế sóng mang có thể sử dụng linh hoạt cho các ứng dụng khác nhau. Kết quả được áp dụng cho điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ vòng hở theo nguyên lý V/f không đổi.

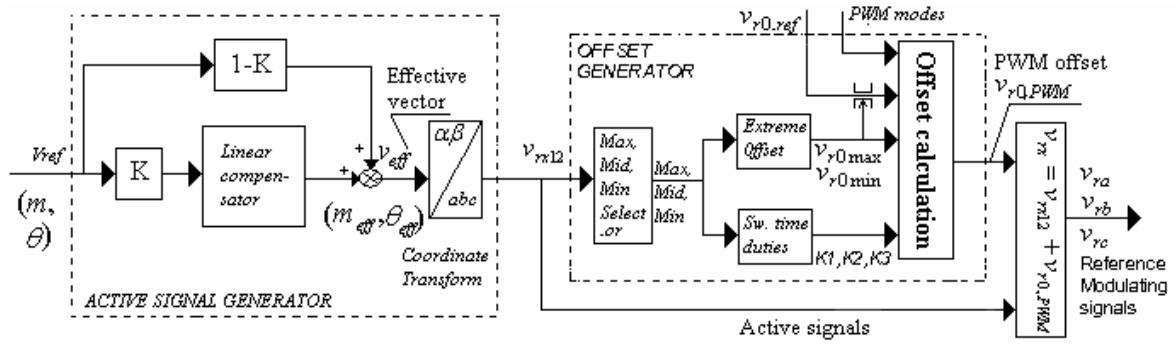
ABSTRACT

The paper presents a novel carrier based SVPWM method for multilevel inverter, based on the SVPWM- carrier correlation, which has been published recently. In this new PWM method, an optimized PWM performance can be fully controlled in an offset generator. A common-mode SVPWM method will show be advantageous for its better balancing the switching losses. The total harmonic distortion will be also investigated. The simulating algorithms using PSIM software will be derived and can be properly modified for various applications.

1. GIỚI THIỆU

Gần đây, việc nghiên cứu biến tần đa bậc đã được đẩy mạnh phát triển và đạt được những kết quả đáng kể. Một trong các vấn đề phức tạp của biến tần đa bậc là kỹ thuật điều khiển PWM. Ba hướng kỹ thuật được đầu tư nghiên cứu nhiều gồm kỹ thuật sóng mang (CPWM) với ưu điểm về tính thực hiện đơn giản, kỹ thuật điều chế vector không gian (SVPWM) với ưu điểm linh hoạt trong điều khiển phẩm chất điều chế và kỹ thuật chọn lọc sóng hài (SHE-PWM) với lợi thế tổn hao ít do số lần đóng ngắt linh kiện thấp nhất. Đã từ lâu, các nhà nghiên cứu đã nhận thấy có sự tương quan giữa hai kỹ thuật CPWM và SVPWM và đã

đạt được một số thành công trong việc thiết lập tương quan giữa chúng để tận dụng các ưu thế điều khiển. Tương quan giữa hai kỹ thuật PWM được thiết lập thành công lần đầu năm 1996 cho biến tần 2 bậc [1]. Một số tiến bộ đạt được cho biến tần 3 bậc được phát hiện bởi một số ít công trình nổi tiếng [2]. Các cố gắng thiết lập tương quan cho biến tần N bậc được biết [3],[4] chỉ có giá trị cho hàm offset cục bộ. Mãi đến năm 2004, lần đầu tiên, hàm offset của các kỹ thuật PWM cho biến tần N bậc được phân tích dưới dạng tổng quát [5]-[6] và kỹ thuật SVPWM có thể thực hiện hoàn toàn tương đương bằng kỹ thuật CPWM bằng cách điều khiển hàm offset tương ứng.



Hình 1: Sơ đồ bộ điều chế sóng mang tổng quát [7]

Tương quan giữa kỹ thuật điều chế vector không gian và kỹ thuật điều chế bằng sóng mang được mô tả trong bộ điều chế sóng mang tổng quát mô tả như trên hình 1. Mạch điều chế (Carrier PWM Modulator) gồm 2 khối cơ bản. Khối tạo sóng tích cực (Active signal Generator) nhận thông tin về đại lượng (vector) áp yêu cầu và tạo tín hiệu tích cực ở ngõ ra. Trong vùng điều chế tuyến tính, đại lượng áp yêu cầu bằng với đại lượng tích cực ngõ ra và bằng thành phần áp cơ bản yêu cầu. Ở vùng quá điều chế, đại lượng tín hiệu tích cực ngõ ra thường khác biệt về pha và biên độ so với đại lượng áp yêu cầu. Các thành phần sóng hài xuất hiện trong tín hiệu tích cực. Khối tạo hàm offset (Offset Generator) tạo thành khối khác biệt so với các phương pháp PWM trước đây. Khối có khả năng điều khiển được hàm offset ở ngõ ra bám theo hàm offset yêu cầu và đồng thời có thể thiết lập các chế độ làm việc khác nhau của bộ biến tần (chế độ Continuous, Discontinuous, SVPWM...) Mô tả các giải thuật của bộ điều chế tổng quát được dẫn giải chi tiết trong [6].

Bài báo trình bày giải pháp thực hiện bộ điều chế bằng PSIM và chỉ ra khả áp dụng của bộ điều chế với tải cụ thể. Đồng thời thực hiện tính toán các thông số THD để so sánh phẩm chất của các phương pháp PWM khác nhau.

2. Mô tả Offset Generator

2.1 Hàm Max, Mid, Min, Interger:

Các hàm lần lượt được định nghĩa như sau:

$$\begin{aligned} Max &= \max(v_{ra12}, v_{rb12}, v_{rc12}) \\ Mid &= \text{mid}(v_{ra12}, v_{rb12}, v_{rc12}) \\ Min &= \min(v_{ra12}, v_{rb12}, v_{rc12}) \end{aligned} \quad (1.1)$$

Hàm Max lấy giá trị cực đại trong 3 tín hiệu hài cơ bản của 3 pha ($v_{ra12}, v_{rb12}, v_{rc12}$). Min là lấy giá trị nhỏ nhất giữa chúng. Mid được thiết lập bằng giá trị còn lại.

Hàm nguyên (interger) lấy giá trị nguyên của một số thực nào đó. VD : $\text{Int}(5,4) = 5$; $\text{Int}(-3,6) = -3$

Tín hiệu ba pha V_{rx12} đưa vào khối đầu tiên, gọi là khối chọn cực trị. Khối này có nhiệm vụ thiết lập các giá trị max, mid và min.

2.2 Khối hàm Offset cực trị (Extreme Offset)

Về mặt toán học V_{r0min} và V_{r0max} được định nghĩa như sau:

$$\begin{aligned} V_{r0max} &= P_{min} + n - 1 - Max \\ V_{r0min} &= P_{min} - Min \end{aligned} \quad (1.2)$$

Trong đó $P_{min} = - (n-1)/2$, nếu là nghịch lưu n bậc lẻ.

2.3 Xác định thời gian tác động của các vector điện áp K_1, K_2, K_3

Trước hết ta định nghĩa tham số xác định vị trí vector yêu cầu bởi hàm S như sau:

$$S = \text{Int}(\text{Max}-\text{Min}) - \text{Int}(\text{Mid}-\text{Min}) - \text{Int}(\text{Max}-\text{Mid}) \quad (1.3)$$

Giá trị của các tham số thời gian K_1, K_2, K_3 sẽ được tính theo các công thức sau và chúng phụ thuộc vào điều kiện $S = 0$ hay $S = 1$.

-Nếu $S = 0$

$$\begin{aligned} K_1 &= 1 + \text{Int}(\text{Max}-\text{Min}) - (\text{Max}-\text{Min}) & (1.4) \\ K_2 &= \text{Max}-\text{Mid} - \text{Int}(\text{Max}-\text{Mid}) \\ K_3 &= 1 - K_2 - K_3 \end{aligned}$$

Nếu $S = 1$

$$\begin{aligned} K_1 &= 1 + \text{Int}(\text{Mid}-\text{Min}) - (\text{Mid}-\text{Min}) & (1.5) \\ K_2 &= 1 - (\text{Max}-\text{Mid}) + \text{Int}(\text{Max}-\text{Mid}) \\ K_3 &= 1 - K_2 - K_3 \end{aligned}$$

2.4 Thiết lập hàm offset tối ưu (Optimum offset)

Hàm yêu cầu $V_{r0,ref}$ ở ngõ vào của khối tạo sóng mang có thể thiết lập theo một yêu cầu tối ưu cho trước nào đó. Liên quan đến điện áp common mode, hàm offset yêu cầu có thể thiết lập theo các phương pháp sau:

Minimum common mode (cực tiểu common mode).- (Phương pháp Minimum CM SVPWM):

$$v_{r0,ref} = \begin{cases} v_{r0max} & \text{if } v_{r0max} < 0 \\ 0 & \text{if } v_{r0max} \geq 0 \geq v_{r0min} \\ v_{r0min} & \text{if } v_{r0min} > 0. \end{cases} \quad (1.6)$$

Medium CM SVPWM (Phương pháp medium CM SVPWM):

$$\begin{aligned} v_{r0,ref} &= 0.5(v_{r0max} + v_{r0min}) \\ &= -(\text{max} + \text{min}) / 2 \end{aligned} \quad (1.7)$$

Chọn Mode PWM

Mode PWM có thể chọn để thực hiện điều chế theo kỹ thuật gián đoạn (Discontinuous PWM) để giảm tổn hao đóng ngắt hoặc theo kỹ thuật điều chế với thời gian của các vector trùng lập active bằng nhau

(SVPWM) để đạt phẩm chất sóng hài tối ưu. Việc chọn mode PWM sẽ được thực hiện trong phần giải thuật tính toán hàm offset ngõ ra.

2.5 Tính toán hàm offset ngõ ra

Từ các phân tích [7], hàm offset ngõ ra $V_{r0,PWM}$ được mô tả ở dạng thống nhất, áp dụng đồng thời cho các kỹ thuật SVPWM và DPWM, chế độ điều chế tuyến tính và quá điều chế bằng biểu thức sau:

$$v_{r0,PWM} = \begin{cases} v_{r0min} + n_0 + c_1 & \text{if } 0 \leq v_{r1} \leq K_1 \\ v_{r0min} + n_0 + K_1 + c_2 & \text{if } K_1 < v_{r1} \leq K_1 + K_2 \\ v_{r0min} + n_0 + K_1 + K_2 + c_3 & \text{if } K_1 + K_2 < v_{r1} < 1. \end{cases} \quad (1.8)$$

Trong đó:

$$v_{r0} = v_{r0,ref} ; j = 1, 2, 3 \quad (1.9)$$

$$\begin{aligned} v_{rj} &= v_{r0} - v_{r0min} - n_0 \\ n_0 &= \text{Int}(v_{r0} - v_{r0min}) \end{aligned}$$

Nếu chọn mode PWM bằng kỹ thuật SVPWM, tham số c_j trong hàm (1.8) được thiết lập như sau:

$$c_j = 0.5K_j \quad (1.10)$$

Nếu chọn Mode PWM là kỹ thuật điều chế gián đoạn (DPWM offset), ta cần thiết lập:

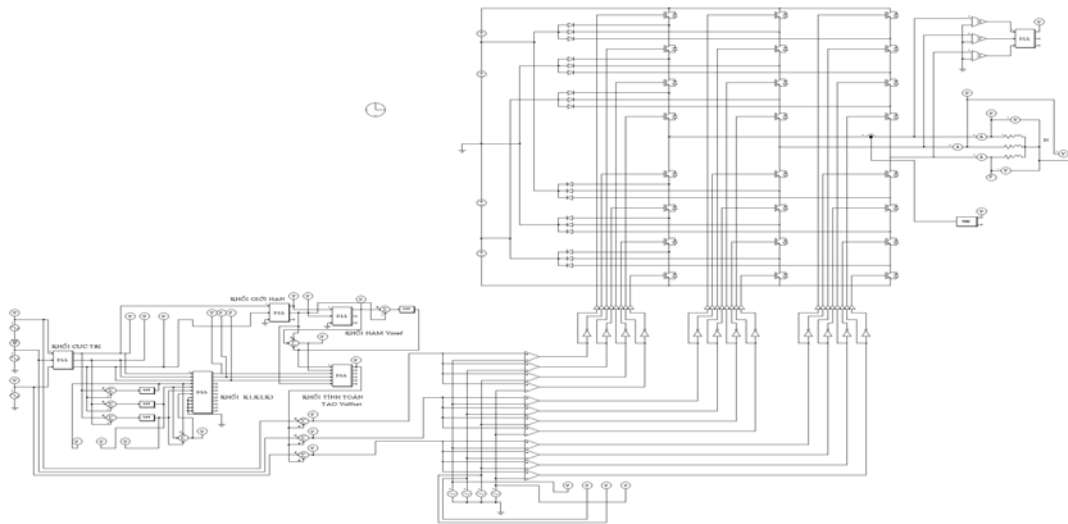
$$c_1 = \begin{cases} K_1 & \text{if } v_{r1} \geq K_1 / 2 \\ 0 & \text{if } v_{r1} < K_1 / 2 \end{cases} \quad (1.11)$$

$$c_2 = \begin{cases} K_2 & \text{if } (v_{r1} - K_1) \geq K_2 / 2 \\ 0 & \text{if } (v_{r1} - K_1) < K_2 / 2 \end{cases} \quad (1.12)$$

$$c_3 = \begin{cases} K_3 & \text{if } (v_{r1} - K_1 - K_2) \geq K_3 / 2 \\ 0 & \text{if } (v_{r1} - K_1 - K_2) < K_3 / 2. \end{cases} \quad (1.13)$$

3. Mô phỏng bộ điều chế CPWM bằng PSIM

Phần mềm PSIM là phần mềm chuyên dụng cho việc mô phỏng trong lĩnh vực điều khiển thiết bị điện tử công suất. Phần mềm có thể



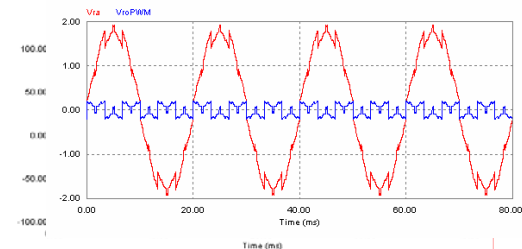
Hình 2: Sơ đồ mô phỏng bộ nghịch lưu 5 bậc dạng diode kẹp, tải RL

thiết kế điều khiển bằng kỹ thuật analog, kỹ thuật số, có khả năng thiết kế giao diện được với MATLAB/SIMULINK để tận dụng nguồn thư viện phong phú của nó. Ngoài nguồn linh kiện công suất, điều khiển, hàm toán có sẵn rất phong phú, phần mềm cho phép người sử dụng thiết kế các khối chức năng riêng, sử dụng ngôn ngữ C++. Chẳng hạn, ta có thể sử dụng khối hàm DLL trong PSIM. Các khối giải thuật ta sẽ viết bằng ngôn ngữ C++, sau đó dùng visual C++ dịch từ file .cpp sang file .dll chứa trong thư mục PSIM. Ví dụ khối tạo hàm max, mid và min được minh họa ở phụ lục.

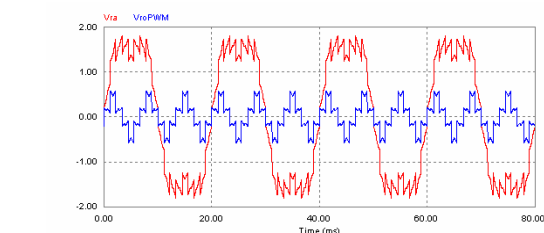
Ví dụ 1: sơ đồ bộ điều chế sóng mang cho nghịch lưu 5 bậc dùng PSIM được vẽ trên hình 2. Quá trình sóng điều khiển và hàm offset ngõ ra của hai kỹ thuật điều chế: điều chế vector không gian với common mode cực tiểu (minimum CM SVPWM) và common mode trung bình (medium CM SVPWM) được mô phỏng và vẽ trên các đồ thị tương ứng ở hình 3 và hình 4.

Các thông số mô phỏng :
 Tỷ số điều chế : $m = 0.8$
 Tần số cơ bản của áp tải bằng $f = 50\text{Hz}$. Nguồn điện áp nguồn DC tổng $U_{DC} = 500\text{V}$

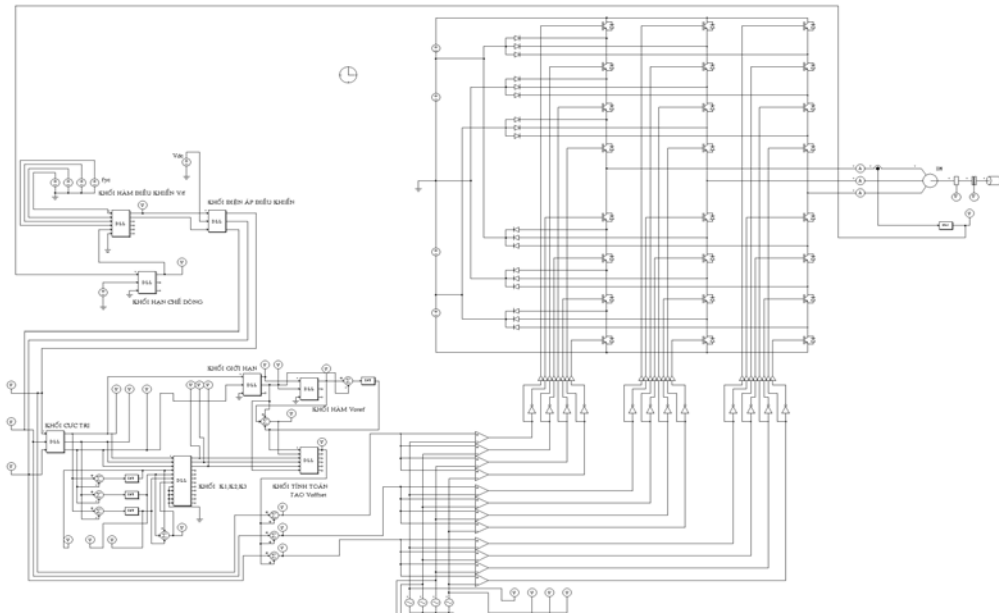
Sóng mang tam giác cùng pha (PD) có tần số bằng $f_p = 1000\text{Hz}$. Tải sử dụng RL có : $R = 1\Omega$; $L = 0.02\text{H}$.



Hình 3 : sóng điều chế, sóng offset và giá trị CM của phương pháp minimum CM SVPWM

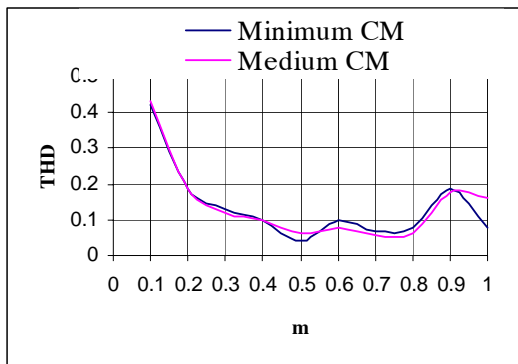


Hình 4 : Sóng điều chế, sóng offset và giá trị CM của Phương pháp medium CM SVPWM



Hình 6: Hệ truyền động động cơ KDB- Bộ biến tần áp 5 bậc

Sử dụng công cụ tính tham số độ méo dạng THD, ta đạt thu được kết quả và vẽ trên hình 5. Kết quả so sánh của hai phương pháp trong ví



Hình 5: So sánh THD của 2 phương pháp medium CM SVPWM và minimum CM SVPWM

dụ trước cho thấy hai phương pháp chỉ số THD bằng nhau ở vùng chỉ số điều chế nhỏ ($m < 0.2$). Ở vùng chỉ số điều chế lớn hơn, ưu điểm của mỗi phương pháp thể hiện trong từng khoảng khác nhau. Tuy nhiên điểm khác biệt giữa chúng không lớn.

Ví dụ 2: Điều Khiển Tốc Độ Động Cơ KDB V/f vòng hở có sơ đồ mô phỏng vẽ trên hình 6. Hệ truyền động động cơ không đồng bộ rotor lồng sóc được thiết lập điều khiển theo nguyên lý giữ từ thông không đổi bằng ($V/f = \text{const}$). Hàm quan hệ $V(f)$ có dạng toán học : $V =$

$Kf + V_o$. Trong đó, giá trị V_o chọn sao cho từ thông động cơ là định mức ở tốc độ zero và giá trị K được chọn sao cho điện áp ra là định mức ở tốc độ định mức (của động cơ).

Các thông số mô phỏng:

Thông số bộ nghịch lưu 5 bậc:

$U_{dc} = 500V$; tần số sóng mang tam giác $f_p = 1.000Hz$

Thông số động cơ KDB

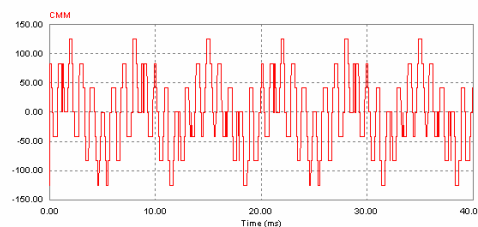
$U_{dm} = 220V$; $f_{dm} = 50Hz$; $R_s = 0.294\Omega$; $L_s = 0.00139H$; $R_r = 0.156\Omega$

$L_r = 0.00074H$; $L_m = 0.041H$; $P = 6$; $M_{qt} = 0.014.3$

Thông số Tải

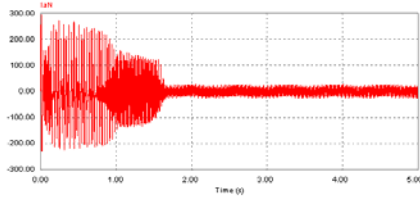
Constant Torque = $30Nm$; $J = 0.01 \text{ mkg}^2$

Đồ thị kết quả mô phỏng được vẽ trên hình 7 (điện áp common mode), hình 8 (dòng điện pha A) và hình 9 (moment động cơ).

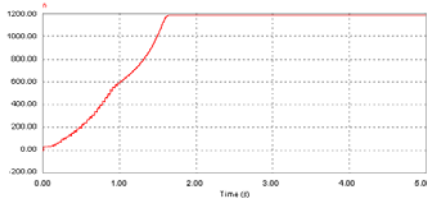


Hình 7: Đồ thị điện áp common mode

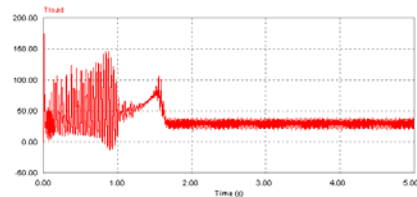
Các đặc tính :



Hình 8 : Dòng tải pha a



Hình 9 : Quá trình vận tốc



Hình 10 : Quá trình momen

Kết quả cho thấy, quá trình mô phỏng của hệ biến tần đa bậc với tải thông qua bộ điều chế sóng mang có thể thực hiện được bằng PSIM tương đối đơn giản. Vấn đề nâng cao chất lượng quá trình điều khiển hệ thống cần được nghiên cứu hơn nữa để xác định các tham số tối ưu hoặc đưa vào các kỹ thuật điều khiển thích hợp.

Kết luận

Bài báo đã trình bày kỹ thuật điều khiển sóng mang trong biến tần đa bậc, thực hiện tính năng tương đương kỹ thuật điều chế vector không gian. Việc thiết kế khối tạo hàm offset làm cho kỹ thuật sóng mang trở nên linh hoạt hơn so với các kỹ thuật sóng mang trước đây. Bài báo cũng chỉ ra khả năng thực hiện bộ điều chế sóng mang tổng quát bằng phần mềm PSIM. Hệ thống mô phỏng đơn giản đã được thiết kế áp dụng cho động cơ không đồng bộ vòng hở.

References

- [1] V. Blasko, "A hybrid PWM strategy combining modified space vector and triangle comparison methods." Proc. Conf. PESC, pp.1872-1878, 1996
 [2] F. Wang, "Sine-triangle versus space vector modulation for three level PWM voltage source inverters," *IEEE Trans. Industry Applications*, Vol.38, pp.500-506, 2002

- [3] McGrath, B.P., Holmes, D.G., Lipo, T., "Optimized space vector switching sequences for multilevel inverters" *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 18, pp. 1293 – 1301, 2003
 [4] P.C.Loh, Holmes, D.G., Fukuta, Y., Lipo, T.A. "Reduced common-mode modulation strategies for cascaded multilevel inverters", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 39, 2003
 [5] N.V.Nho, M.J.Youn, "An analysis of carrier based PWM methods in relation to common mode voltage for multilevel inverters", *Proceedings of IECON Conf. 2004, Pusan, Korea*
 [6] N.V.Nho, M.J.Youn, "A comprehensive study on SVPWM-carrier based PWM correlation for multilevel inverters", *IEEE Proceedings Electric Power Applications*, 2005 (In press)
 [7] PSIM manual, PowerSimtech Company, 2003.

Phụ lục

Ví dụ sau đây là chương trình cho khối max mid min.

```
#include<math.h>
void _declspec(dllexport) ham (double t,double
delt,double *in,double *out)
{
double a,b,c;
a=in[0];
b=in[1];
c=in[2];
if(a>b)
{
if(a>c)
{ out[0]=a;
if(b>c)
{ out[2]=c;out[1]=b;}
else { out[2]=b;out[1]=c;}
}
else { out[0]=c;out[2]=b;out[1]=a;}
}
else
{ if(b>c)
{ out[0]=b;
if(a>c) { out[2]=c;out[1]=a;}
else { out[2]=a;out[1]=c;}
}
else
{ out[0]=c;out[2]=a;out[1]=b;}
}
}
```