

**THIẾT KẾ BỘ NGHỊCH LƯU BA PHA BA NHÁNH
SỬ DỤNG MODUL CÔNG SUẤT THÔNG MINH CHUYÊN DỤNG PS22A76
DESIGN THE THREE-PHASE THREE-LEG INVERTER BASED ON APPLICATION
SPECIFIC INTELLIGENT POWER MODULES PS22A76**

ThS. PHẠM VĂN TOÀN

Khoa Điện - Điện tử, Trường ĐHHH Việt Nam

Tóm tắt

Bài báo nêu lên những hạn chế của việc thực hiện bộ nghịch lưu ba pha ba nhánh sử dụng modul công suất thông minh thông thường (Conventional Intelligent Power Modules) áp dụng cho các hệ truyền động công suất nhỏ. Từ đó, một giải pháp thay thế được chỉ ra đem lại nhiều ưu điểm hơn trong việc thực hiện bộ nghịch lưu này đó là sử dụng modul công suất thông minh chuyên dụng (Application Specific Intelligent Power Modules). Mô hình thực nghiệm hệ Biến tần - Động cơ không đồng bộ được xây dựng để kiểm chứng những ưu điểm của phương pháp thiết kế này.

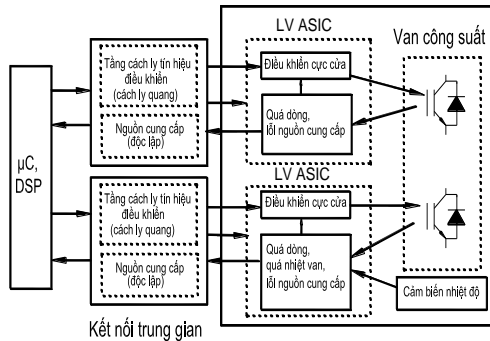
Abstract

This paper pointed out some drawbacks of the implementation of three-phase three-leg inverter with application Conventional Intelligent Power Modules (Conventional IPM). Since then, an alternative solution is showed to bring out many advantages in the realization of the three-phase three-leg inverter with Application Specific IPM (ASIPM). An experimental model of the inverter - induction motor system is constructed to verify these strong points of this design method.

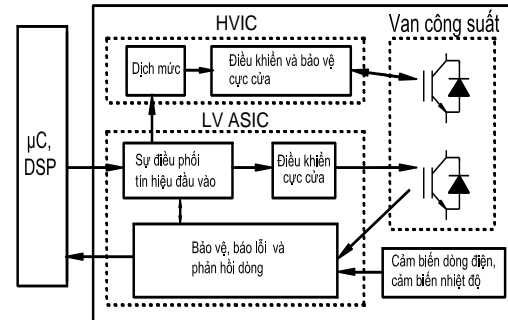
Key words: Intelligent power modules (IPM), three-phase inverter, Digital Signal Processor (DSP).

1. Đặt vấn đề

Các bộ nghịch lưu ba pha ba nhánh sử dụng Conventional IPM trong hệ truyền động biến tần - động cơ không đồng bộ (ĐCKĐB) càng trở nên phổ biến với dải công suất từ 200W tới hơn 150kW [1], [2], [3]. Hình 1 chỉ ra sơ đồ khối cấu tạo của Conventional IPM. Theo đó, Conventional IPM được tích hợp các van công suất với các mạch tích hợp chuyên dụng phía thấp áp (LV ASIC - Low voltage Application Specific Integrated Circuit) để kích mở van và cung cấp một số chức năng bảo vệ đã được sử dụng rộng rãi trong hệ truyền động xoay chiều. Modul loại này có một vài ưu điểm như [4]: Giảm thời gian thiết kế, nâng cao độ tin cậy; giảm tổn hao công suất bằng việc tối ưu hóa đồng thời các van công suất và chức năng bảo vệ trên cùng một modul; cải thiện khả năng chế tạo do giảm số lượng các linh kiện phụ trợ. Tuy nhiên Conventional IPM vẫn còn có hạn chế nhất định. Theo đó, để có thể ghép nối giữa $\mu C/DSP$ (vi điều khiển/vi xử lý tín hiệu số) và Conventional IPM cần có tầng kết nối trung gian (hình 1) bao gồm các mạch cách ly quang đảm bảo cách ly $\mu C/DSP$ với phía cao áp (các van trên). Điều này dẫn tới số lượng nguồn điều khiển sử dụng để kích mở van tăng lên. Đối với các hệ truyền động công suất nhỏ, hạn chế nêu trên sẽ làm gia tăng thêm chi phí và kích thước của thiết bị.



Hình 1. Sơ đồ khối IPM thông thường [4]



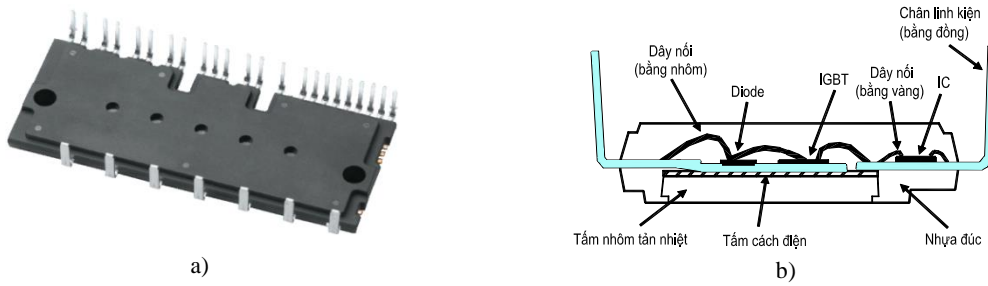
Hình 2. Sơ đồ khối ASIPM [4]

Việc modul ASIPM (Application Specific IPM) ra đời đã khắc phục được mặt hạn chế của Conventional IPM. Hình 2 chỉ ra sơ đồ khối cấu tạo của ASIPM. Bằng việc tích hợp thêm công nghệ HVIC (High Voltage Integrated Circuit) có chức năng dịch mức và điều khiển kích mở van, ASIPM cho phép kết nối trực tiếp 6 tín hiệu PWM từ $\mu C/DSP$ tới đầu vào của nó mà không cần cách ly quang, chỉ cần một nguồn điều khiển duy nhất để kích mở van. Ngoài ra, một số ASIPM còn tích hợp sẵn cả cảm biến đo dòng bên trong giúp cho việc thiết kế khâu đo lường trở nên thuận tiện hơn. Bài báo chỉ ra việc thực hiện bộ nghịch lưu ba pha ba nhánh sử dụng ASIPM.

2. Thực hiện bộ nghịch lưu ba pha ba nhánh

Trong ứng dụng này, ASIPM được sử dụng là modul IGBT PS22A76 của Mitsubishi Electric với các tính năng chủ yếu như sau [5]: $I_C = 25A, V_{CES} = 1200V$; tính năng cho nhóm van trên (P-side) bao gồm: Mạch kích mở, dịch mức, bảo vệ thấp áp; tính năng cho nhóm van dưới (N-side) bao gồm: Mạch kích mở, tín hiệu báo lỗi và bảo vệ ngắn mạch - thấp áp, đầu ra tương tự báo nhiệt độ tại LVIC; đặc biệt là việc cấp nguồn cho modul chỉ từ một nguồn duy nhất có giá trị 15VDC.

Hình 3a, b chỉ ra hình dạng bên ngoài và mặt cắt ngang cấu trúc bên trong của modul này.

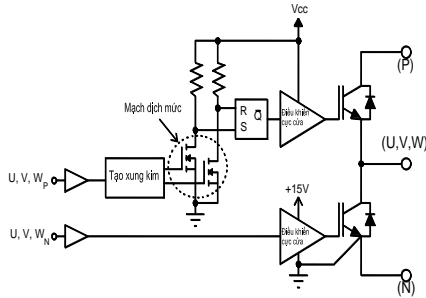


Hình 3. Modul IGBT PS22A76

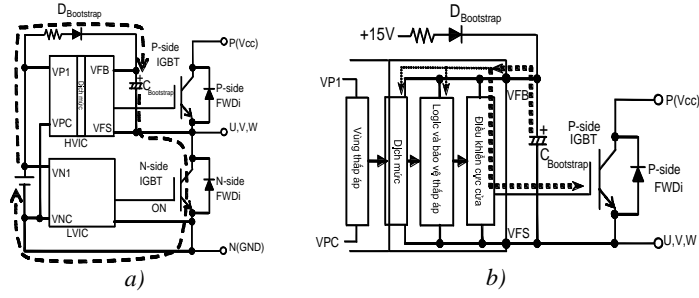
a) Hình dạng bên ngoài, b) Mặt cắt ngang cấu trúc bên trong

Bộ nghịch lưu ba pha ba nhánh sử dụng modul PS22A76 bao gồm 2 khối chức năng: Khối phối ghép với $\mu C / DSP$ và khối bảo vệ.

2.1. Khối phối ghép với $\mu C / DSP$



Hình 4. Mạch dịch mức [5]



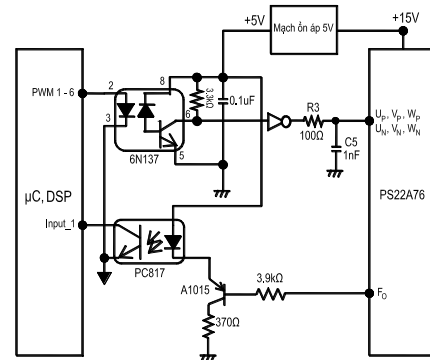
Hình 5. Nguyên lý hoạt động mạch bootstrap [6]

a) Quá trình nạp, b) Quá trình phóng

Mạch dịch mức (hình 4) trong HVIC của PS22A76 cho phép ghép nối trực tiếp 6 tín hiệu PWM từ $\mu C / DSP$ tới 6 đầu vào $U_P, V_P, W_P, U_N, V_N, W_N$ của nó. Tuy nhiên, để đảm bảo cách ly giữa mạch điều khiển và mạch công suất, sơ đồ thiết kế sử dụng cách ly quang.

- Phần tử cách ly quang tốc độ cao 6N137 được sử dụng để có thể làm việc ở tần số cao (khoảng vài kHz). Khoảng cách của các đường tín hiệu này được thiết kế ngắn nhất có thể nhằm hạn chế nhiễu. Ngoài ra, các xung nhiễu có độ rộng quá nhỏ sẽ được loại bỏ bằng cách lắp mạch lọc RC trên mỗi đường tín hiệu vào.

- Tín hiệu báo lỗi ngắn mạch, thấp áp từ modul PS22A76 gửi tới đầu vào của $\mu C / DSP$ sử dụng cách ly quang PC817.



Hình 6. Mạch phối ghép với $\mu C / DSP$

Năng lượng sử dụng để kích mở nhóm van trên được cung cấp từ một mạch bootstrap ngoài với nguyên lý hoạt động như sau: Khi van dưới được kích mở (ON), tụ bootstrap ($C_{bootstrap}$) được nạp điện tích qua diode ($D_{bootstrap}$) theo đường nét đứt (hình 5a); Khi van dưới bị khóa lại, $C_{bootstrap}$ phóng điện tích để kích mở van trên (hình 5b). Như vậy, chỉ cần sử dụng một nguồn cung cấp 15VDC duy nhất cho modul PS22A76. Hình 6 chỉ ra sơ đồ phối ghép giữa $\mu C / DSP$ với modul PS22A76.

2.2. Khối bảo vệ

Các chức năng bảo vệ được xây dựng bao gồm: Thấp áp nguồn điều khiển, ngắn mạch và quá nhiệt van.

2.2.1. Bảo vệ thấp áp nguồn điều khiển

Chức năng bảo vệ thấp áp giúp ngăn ngừa các chế độ làm việc không mong muốn được chỉ ra trong bảng 1 [5]. Cả nhóm van trên và nhóm van dưới đều có chức năng này. Tuy nhiên, tín hiệu ra báo lỗi thấp áp chỉ được tích cực cho nhóm van dưới.

Bảng 1. Đáp ứng của PS22A76 tương ứng với các giá trị điện áp nguồn cung cấp

Điện áp nguồn cung cấp	Hoạt động
0 ÷ 4V (P, N)	<ul style="list-style-type: none"> - Tương đương với nguồn cấp bằng 0V. - Chức năng bảo vệ thấp áp, đầu ra báo lỗi (F_o) không được tích cực. - Các van IGBT không làm việc. Tuy nhiên, nhiễu bên ngoài có thể gây mở van. Vì vậy, điện áp trung gian một chiều chỉ được cung cấp cho

	modul sau khi đã cấp nguồn điều khiển.
$4 \div U_{ngưỡng}$	Chức năng bảo vệ thấp áp, F_o được tích cực. Các van IGBT không làm việc.
$U_{ngưỡng} \div 13,5V (N), 13,0V (P)$	Các van IGBT làm việc. Tuy nhiên, tổn thất trên van tăng, dẫn tới nhiệt độ van tăng.
$13,5V \div 16,5V (N);$ $13,0V \div 18,5V (P)$	Chế độ làm việc bình thường
$16,5V \div 20,0V (N);$ $18,5V \div 20,0V (P)$	Các van IGBT vẫn làm việc. Tuy nhiên, tốc độ chuyển mạch và giá trị dòng qua van tăng, làm tăng nguy cơ ngắn mạch.
$> 20V (P, N)$	Mạch điều khiển có thể bị phá hủy.

2.2.2. Bảo vệ ngắn mạch [5]

Phương pháp bảo vệ ngắn mạch được thực hiện bằng cách giám sát điện áp rơi trên điện trở R_S . Dòng điện chảy qua R_S có giá trị rất nhỏ được tách từ thành phần dòng điện chính chảy qua nhóm van dưới (đường nét đứt trong hình 7). Bằng cách này, tổn thất rơi trên điện trở được giảm đi đáng kể so với phương pháp sử dụng điện trở shunt của thể hệ modul trước đó. Để đảm bảo mạch bảo vệ ngắn mạch hoạt động tin cậy, một mạch lọc RC được lắp vào trước đầu vào CIN với hằng số thời gian $\tau = 1,8 \mu s$. Khi đó, 3 van dưới sẽ bị khóa sau $1,8 \mu s$ khi ngắn mạch xảy ra.

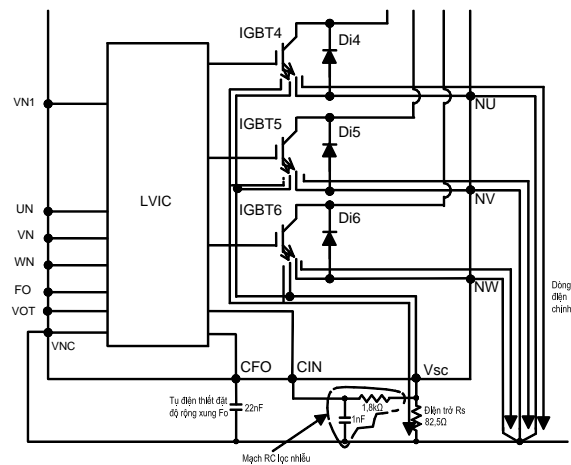
2.2.3. Bảo vệ quá nhiệt cho van

Modul PS22A76 được tích hợp sẵn một mạch đo nhiệt độ tại LVIC. Nhiệt độ trên van IGBT, diode sẽ gián tiếp làm nóng LVIC. Do đó, nhiệt độ tại LVIC không thể phản ánh tức thời nhiệt độ trên các van (ví dụ trong chế độ ngắn mạch). Vì vậy, mạch này chỉ được áp dụng để bảo vệ quá nhiệt cho van trong trường hợp điều kiện làm mát xấu đi hoặc động cơ bị quá tải. Chức năng này giúp cho người sử dụng loại bỏ được một mạch ngoài đo nhiệt độ của modul. Khi nhiệt độ vượt quá giá trị cho phép, modul không tự động khóa các van IGBT cũng như xuất tín hiệu báo lỗi F_o . Vì vậy, vi điều khiển sẽ phải đưa ra tín hiệu khóa tất cả các van IGBT khi xảy ra quá nhiệt van. Hình 8 chỉ ra sơ đồ mạch thực hiện chức năng bảo vệ quá nhiệt van.

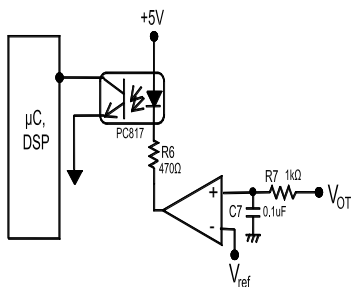
2.2.4. Mạch snubber

Một tụ điện snubber được lắp song song với nguồn trung gian một chiều giúp bảo vệ van và tăng hiệu quả làm việc của van. Tụ điện này cần được bố trí gần nhất có thể với cọc P và cọc NU, NV, NW như được minh họa trong hình 9. Tụ snubber được lựa chọn có giá trị $0,15 \mu F$. Hình 10 chỉ ra sơ đồ nguyên lý hoàn thiện của bộ nghịch lưu ba pha ba nhánh sử dụng modul PS22A76.

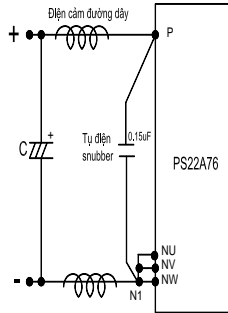
3. Kết quả thực nghiệm



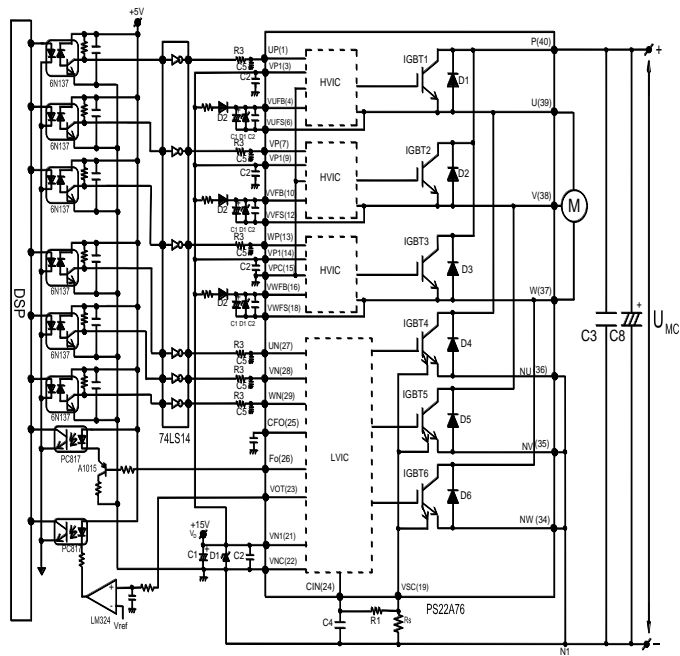
Hình 7. Mạch bảo vệ ngắn mạch [5]



Hình 8. Mạch bảo vệ quá nhiệt van

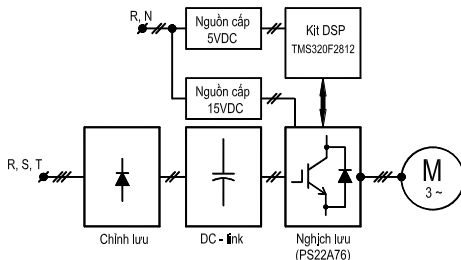


Hình 9. Mạch snubber

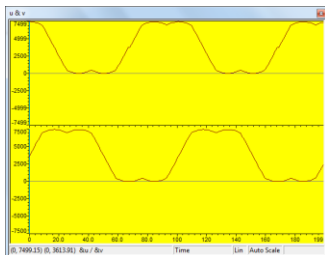


Hình 10. Sơ đồ nguyên lý bộ nghịch lưu ba pha ba nhánh

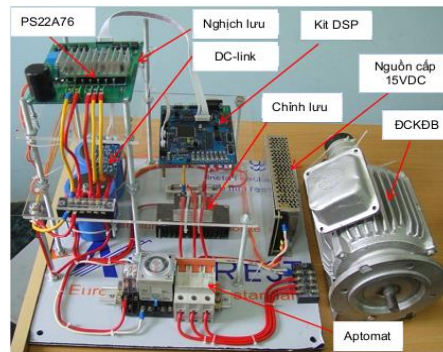
Mô hình thực nghiệm hệ biến tần - ĐCKĐB (hình 12) được xây dựng theo sơ đồ khối hình 11 để kiểm chứng các ưu điểm khi thiết kế bộ nghịch lưu ba pha ba nhánh sử dụng modul PS22A76. Trong đó, ĐCKĐB có thông số: $P=180W$, $U_N=380V$, $p_c=3$, $n_N=945v/p$; mạch điều khiển sử dụng vi xử lý tín hiệu số TMS320F2812 của Texas Instruments, các van được điều khiển theo phương pháp điều chế vector không gian, tần số đặt cho động cơ $f=50Hz$. Hình 13 chỉ ra đồ thị thời gian đóng ngắt van cho pha U (t_u) và pha V (t_v). Điện áp dây U_{uv}, U_{vw} nhận được từ máy hiện sóng (Oscilloscope) được chỉ ra trong hình 14. Quan sát trực tiếp thời gian nhận thấy: Chu kỳ của điện áp xấp xỉ 20 ms (tương ứng $f=50Hz$), điện áp U_{uv} và U_{vw} lệch nhau khoảng 3,3 ms (tương ứng 60°) đảm bảo đúng nguyên lý điện áp ra của biến tần cấp cho ĐCKĐB



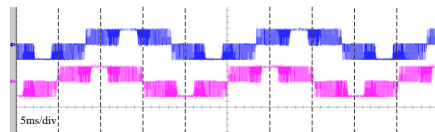
Hình 11. Sơ đồ khối hệ biến tần - ĐCKĐB



Hình 13. Đồ thị thời gian đóng ngắt van t_u, t_v



Hình 12. Mô hình thực nghiệm



Hình 14. Điện áp dây U_{uv}, U_{vw}

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày cách thiết kế bộ nghịch lưu ba pha ba nhánh sử dụng modul IGBT PS22A76 của hãng Mitsubishi Electric. Các kết quả thu được từ mô hình thực nghiệm cho thấy bộ nghịch lưu ba pha ba nhánh sử dụng modul này hoạt động tốt, giống như bộ nghịch lưu ba pha ba nhánh được xây dựng từ Conventional IPM nhưng phát huy được những ưu điểm: Rút ngắn thời gian thiết kế, nâng cao độ tin cậy; giảm tổn hao công suất; độ tích hợp cao, một số linh kiện và thiết bị phụ trợ ngoài giảm, kích thước mạch nhỏ gọn. Tuy nhiên, modul này không được tích hợp sẵn các cảm biến đo dòng điện. Vì vậy, yêu cầu phải sử dụng thêm các cảm biến ngoài khi cần xây dựng mạch vòng điều chỉnh dòng điện cho hệ biến tần - ĐCKĐB.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] *G. Majumdar, et al. - A New Generation High Performance Intelligent Module - PCIM Europe May, 1992.*
- [2] *E. Motto, et. al. - A New Generation of Intelligent Power Devices for Motor Drive Applications - IEEE IAS Conference October, 1993.*
- [3] *John Donlon, et. al. - A New Converter/Inverter System for Windpower Generation Utilizing a New 600 Amp, 1200 Volt Intelligent IGBT Power Module - IEEE IAS Conference October, 1994.*
- [4] *Eric R. Motto - Application Specific Intelligent Power Modules - A Novel Approach to System Integration in Low Power Drives.*
- [5] *Mitsubishi Electric - 1200V large dipipm ver. 4 series application note PS22A7* - October, 2012.*
- [6] *Mitsubishi Electric - DIIPM APPLICATION NOTE Bootstrap Circuit Design Manual - October, 2012.*