

NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN HỆ THỐNG LÀM MÁT BIẾN TẦN CÔNG SUẤT LỚN BẰNG CHẤT LỎNG TUẦN HOÀN

ThS. Phạm Văn Hiếu, TS. Đỗ Đức Trọng, ThS. Nguyễn Đức Minh, ThS. Hoàng Mạnh Thắng
Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin

Mở đầu: Hiện nay, ngành công nghiệp mỏ trên thế giới và tại Việt Nam đang dần chuyển dịch theo hướng tự động hóa và tin học hóa quá trình khai thác. Việc ứng dụng các thiết bị tự động hóa không chỉ giúp tăng năng suất khai thác khoáng sản, mà còn giảm chi phí vận hành hệ thống, tăng độ an toàn cho hoạt động khai thác. Tuy nhiên, việc các thiết bị được lập trình tự động cũng đòi hỏi hiệu suất làm việc của hệ thống điều khiển điện-điện tử luôn ở mức cao. Khi làm việc trong điều kiện như vậy, vấn đề lớn nhất gặp phải với các thiết bị này là sự phát sinh nhiệt ra môi trường bên ngoài hoặc các thiết bị xung quanh. Trong các biến tần của hệ thống điều khiển, các mô-đun IGBT công suất lớn là một trong những thiết bị quan trọng nhất. Khi làm việc, các mô-đun IGBT này tỏa ra lượng nhiệt rất cao tùy theo công suất được sử dụng. Do đó, nếu không có biện pháp hiệu quả để tản nhiệt cho các mô-đun IGBT này, nhiệt lượng sinh ra từ các chip bán dẫn có thể làm đứt các dây dẫn liên kết hoặc mối hàn, từ đó khiến cho các mô-đun IGBT bị lỗi. Đặc biệt hơn đối với các thiết bị hoạt động trong môi trường khai thác mỏ hầm lò là nơi mà môi trường rất khắc nghiệt và nguy cơ xảy ra cháy nổ luôn ở mức rất cao. Điều này buộc các thiết bị điện phải được bố trí trong các tủ kín bằng kim loại chống cháy nổ để đảm bảo an toàn. Tuy nhiên, việc hạn chế bởi vỏ bảo vệ chống cháy nổ cũng khiến không gian xung quanh các thiết bị điện tử bị giới hạn rất nhiều. Việc này sẽ khiến khả năng tản nhiệt ra môi trường xung quanh của các thiết bị điều khiển bị giảm mạnh. Vì vậy, vấn đề tản nhiệt cho các thiết bị điều khiển cần được nghiên cứu và tính toán cụ thể hơn, đặc biệt là các biến tần phòng nổ công suất lớn trong mỏ hầm lò.

Từ khóa: *Biến tần, chất lỏng tuần hoàn, hệ số dẫn nhiệt, IGBT, không khí đối lưu, tản nhiệt.*

1 Tổng quan về các phương pháp làm mát biến tần

Thực tế hiện nay, để làm mát biến tần, các phương pháp thông dụng nhất được sử dụng là làm mát bằng không khí đối lưu và làm mát bằng chất lỏng đối lưu. Nguyên lý chung của hai phương pháp làm mát trên là một vật có hệ số dẫn nhiệt cao (gọi là tấm tản nhiệt), thường được chế tạo từ đồng hoặc nhôm, tiếp xúc trực tiếp với vật phát ra nhiệt (các Diode bán dẫn hoặc IGBT...). Nhiệt được truyền cho tấm tản nhiệt có độ dẫn nhiệt tốt hơn và diện tích bề mặt lớn hơn vật phát ra nhiệt. Tiếp theo, tấm tản nhiệt được làm mát cưỡng bức bằng không khí đối lưu hoặc bằng chất lỏng đối lưu [1,2].

Phương pháp làm mát cưỡng bức tấm tản nhiệt bằng không khí đối lưu được thực hiện phụ thuộc vào việc giữ cho không khí lưu thông nhờ

đối lưu bằng cách cung cấp thêm các quạt gió cho tấm tản nhiệt (hình 1).



Hình 1: Biến tần làm mát bằng không khí do Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin thiết kế và chế tạo

Quạt gió giúp không khí lưu thông qua một không gian lớn hơn, từ đó cải thiện khả năng làm mát. Phương pháp được dùng cho hầu hết các thiết bị do có kết cấu đơn giản và không yêu cầu

mức độ tản nhiệt quá cao. Tuy nhiên, giải pháp này khó đáp ứng nhu cầu làm mát cho các thiết bị có công suất tiêu thụ trên 1.500 W do nhiều hạn chế về tính chất vật lý và thiết kế của thiết bị. So với chất lỏng (nước), độ dẫn nhiệt của không khí thấp hơn. So sánh khả năng tản nhiệt của nước và không khí được trình bày trong bảng 1. Có thể thấy, nước là môi chất dùng để làm mát rất hiệu quả, đặc biệt với các nguồn tỏa ra lượng nhiệt lớn. Ngoài ra, xét về mặt kinh tế, nước sạch rất rẻ so với các môi chất hóa học khác.

Bảng 1: So sánh các thông số vật lý của nước, không khí tại áp suất chuẩn và nhiệt độ 50 °C

Thông số vật lý	Nước	Không khí
Mật độ ρ (kg/m ³)	988	1093
Nhiệt dung riêng C_p (kJ/kg.K)	4,174	1,005
Độ dẫn nhiệt k (W/m.K)	0,648	0,0283
Độ nhớt động học ν ($\times 10^{-6}$ m ² /s)	0,556	17,95
Hệ số Prandtl	3,54	0,698

Đồng thời, với phương pháp làm mát cưỡng bức tấm tản nhiệt bằng không khí, để đảm bảo cho biến tần làm việc bình thường, vỏ phòng nổ phải có kích thước lớn để lắp đặt hệ thống tản nhiệt. Khi công suất biến tần càng lớn, nhu cầu tản nhiệt càng lớn và kích thước của vỏ cũng tăng lên. Do đó, biến tần làm mát bằng không khí có công suất lớn thì kích thước vỏ sẽ rất lớn, gây khó khăn trong chế tạo và tốn kém chi phí vận hành.

Ngoài ra, một điểm nổi bật của biến tần làm mát bằng chất lỏng là tiết kiệm năng lượng hơn so với biến tần thông thường. Có thể hình dung hiệu quả làm việc của hai phương pháp trên thông qua lượng điện năng tiêu thụ để làm mát. Với biến tần 1.000 kW làm mát bằng không khí, để biến tần làm việc bình thường thì cần 6-9 kW điện cho hệ thống làm mát. Trong khi đó, với loại làm mát bằng chất lỏng có công suất tương tự, để hệ thống làm mát bằng nước hoạt động chỉ tốn khoảng 1,5 kW điện.

2 Nguyên lý làm mát biến tần bằng nước

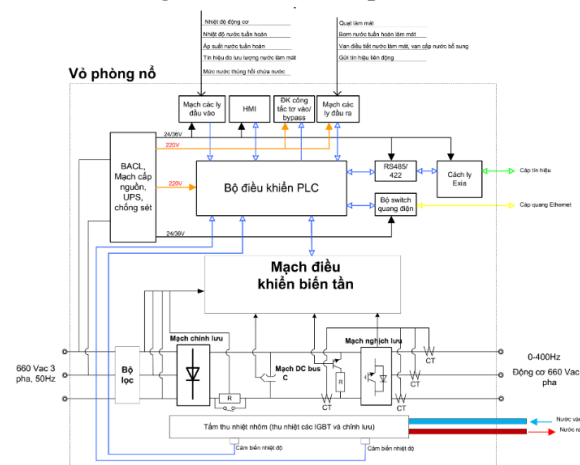
Phương pháp làm mát bằng chất lỏng hoạt động tương tự như bộ tản nhiệt trên các ô tô. Chất

lỏng được sử dụng có thể là nước sạch hoặc nước có thêm phụ gia giúp tăng độ dẫn nhiệt. Ngoài nước sạch thì thủy ngân hoặc dầu cũng có độ dẫn nhiệt cao, tuy nhiên thủy ngân rất độc hại với môi trường và sức khỏe của con người nên không được sử dụng cho hệ thống làm mát biến tần bằng chất lỏng. Bài báo này chỉ xét chất lỏng được sử dụng để làm mát biến tần là nước sạch.

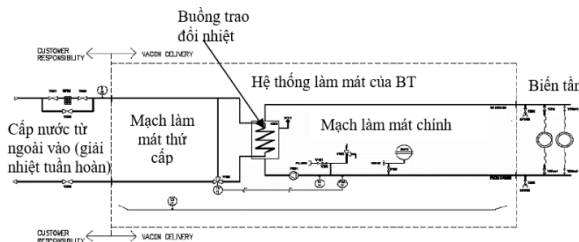
Với phương pháp làm mát bằng nước, nước có nhiệt độ khoảng 30 °C được bơm từ thùng chứa bằng máy bơm, qua bộ lọc, các van tiết lưu đến các ống dẫn bằng đồng chạy bên dưới bề mặt tấm tản nhiệt. Nguồn nhiệt từ các thiết bị phát nhiệt, ngoài một phần truyền ra không khí xung quanh, sẽ được truyền đến bề mặt tấm tản nhiệt, ống đồng rồi từ đó truyền vào nước tuần hoàn chạy trong ống. Nước sau khi bị làm nóng, dưới áp lực đẩy của bơm (khoảng 0,8 MPa) sẽ tiếp tục chảy qua ống dẫn ra ngoài tủ kín và đến mạch làm mát nước cưỡng bức bằng không khí (mạch làm mát thứ cấp). Tại đây, nước di chuyển qua bộ làm mát gồm các ống đồng xếp song song và so le nhau và được làm mát cưỡng bức bằng không khí từ quạt gió. Sau khi được làm mát, nước sẽ tiếp tục qua bộ lọc và trở về thùng chứa. Cứ như vậy, chu trình tiếp tục diễn ra [3-6].

3 Cấu trúc của biến tần làm mát bằng nước

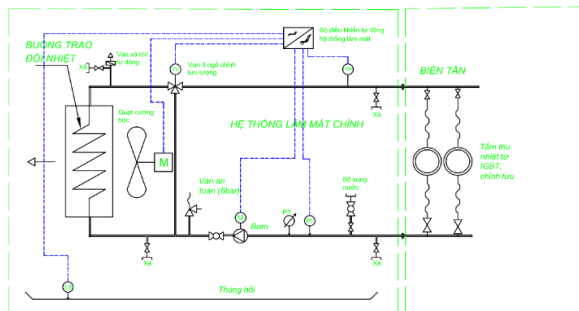
Như vậy, có thể phân chia cấu trúc biến tần làm mát bằng nước thành các phần như sau:



Hình 2: Sơ đồ cấu trúc biến tần



Hình 3: Sơ đồ P&ID hệ thống trao đổi nhiệt của biến tần làm mát bằng chất lỏng



Hình 4: Nguyên lý và mô hình làm mát bằng hệ thống trao đổi nhiệt sơ cấp nước-nước, thứ cấp cưỡng bức bằng không khí

- **Mạch làm mát chính:** Làm mát các thiết bị tỏa nhiệt bằng nước mát bởi hiện tượng truyền nhiệt. Lưu lượng, áp suất của nước được kiểm soát bởi các cảm biến, sau đó các số liệu trên được chuyển về khối điều khiển trung tâm và cũng được hiển thị ra đồng hồ hiển thị áp suất đặt trên mạch. Đồng thời, một cảm biến giám sát nhiệt độ cũng được đặt ở đây để gửi tín hiệu đến khối điều khiển trung tâm. Khi nhận được các thông số trên, khối điều khiển trung tâm sẽ phân tích và tự động điều chỉnh nếu một trong các thông số vượt quá ngưỡng cho phép. Việc điều chỉnh này được thực hiện thông qua buồng trao đổi nhiệt bằng cách điều chỉnh van 3 ngã (FV11) để điều khiển nhiệt độ trong mạch chính cho phù hợp với nhiệt độ yêu cầu (hình 4).

- **Mạch làm mát thứ cấp:** Làm mát cưỡng bức nước nóng từ mạch chính bằng không khí đối lưu;

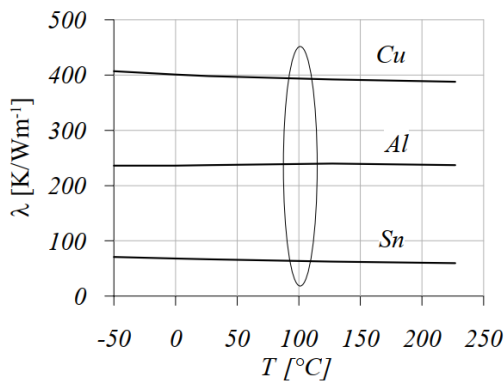
- **Khối điều khiển trung tâm:** Kiểm soát và điều khiển lưu lượng dòng chảy, nhiệt độ, áp suất và phát hiện rò rỉ thông qua các cảm biến. Khối điều khiển sẽ phát ra cảnh báo hoặc dừng hoạt

động căn cứ vào số liệu thu thập được từ các cảm biến và căn cứ vào các thông số cài đặt. Một phần của cảm biến rò (LS11) được đặt ở dưới chân của khối điều khiển, còn tất cả các sensor khác được đặt trong mạch chính. Việc giám sát nhiệt độ và dòng chảy trong mạch thứ cấp thuộc về người sử dụng. Khối điều khiển trung tâm biến tần chính là khối điều khiển, giám sát dòng chảy và nhiệt độ trong mạch chính và điều chỉnh tần số, điện áp của động cơ bơm làm mát (PU11). Khối này được lập trình để đọc tín hiệu từ các bộ phận công tắc lưu lượng (FTSA11), sensor áp suất (PT11), công tắc rò (LS11) và đưa ra tín hiệu điều khiển. Bên trong khối điều khiển chứa một card truyền thông. Kết nối truyền thông qua card này, người sử dụng có thể giám sát được tám thông số khác nhau của mạch sơ cấp: Nhiệt độ, áp suất, cảnh báo và các trạng thái đóng/cắt.

- **Các thiết bị đo lường:** Cập nhật và hiển thị giá trị của các thông số mỗi thành phần trong hệ thống bao gồm nhiệt độ, áp suất, tình trạng các thiết bị... Công tắc lưu lượng (FTSA11) đo tốc độ của dòng chảy bên trong ống. Tốc độ này thể hiện theo phần trăm dải lưu lượng đo. Công tắc lưu lượng cũng đo cả nhiệt độ trong đường ống và gửi ra dạng tín hiệu tương tự 4-20 mA tới van 3 ngã (FV11). Cả hai tín hiệu tương tự nhiệt độ và tín hiệu chuyển mạch đo tốc độ đều được gửi tới khối điều khiển. Tín hiệu tương tự đo nhiệt độ được dùng để kiểm soát nhiệt độ trong mạch chính và đồng thời phát ra tín hiệu cảnh báo nhiệt và tín hiệu bị ngắt khi vượt ngưỡng. Tín hiệu chuyển mạch đo tốc độ dùng để giám sát dòng chảy trong mạch sơ cấp và phát sinh tín hiệu cắt.

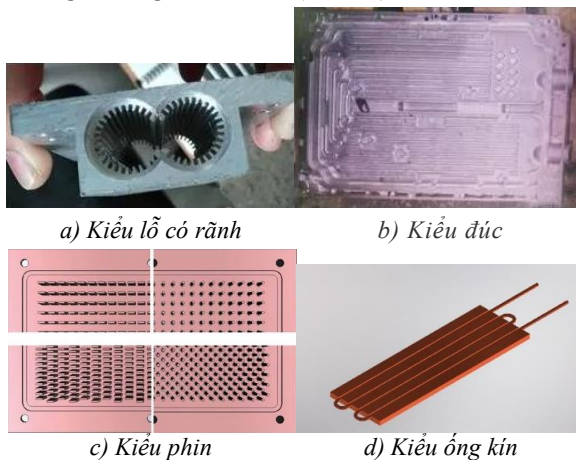
- **Về cấu trúc tấm tản nhiệt:** Là một tấm phẳng có kích thước hai chiều rất lớn so với chiều còn lại, được đặt tiếp xúc trực tiếp với thiết bị tỏa nhiệt. Có thể dùng thêm keo tản nhiệt để tăng hiệu quả tản nhiệt. Vật liệu chế tạo tấm tản nhiệt có thể sử dụng nhôm hoặc đồng hoặc các vật liệu làm từ cacbon. Tuy nhiên, xét về mức độ kinh tế và hiệu quả tản nhiệt thì vật liệu tản nhiệt làm

bằng đồng, sau đó là nhôm mang lại hiệu quả cao nhất với hệ số dẫn nhiệt cao (hình 5) [7, 8].



Hình 5: So sánh hệ số dẫn nhiệt một số kim loại dùng làm tấm tản nhiệt

Một khía cạnh khác cũng cần được chú ý khi thiết kế hệ thống làm mát bằng nước cho các biến tần là cấu trúc của tấm tản nhiệt ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả tản nhiệt của nó. Trên thực tế, các tấm tản nhiệt có thể được chế tạo bằng phương pháp đúc với các lỗ hoặc ống để cho nước làm mát chảy qua với các biên dạng và phương thức thực hiện khác nhau như khoan lỗ, đúc, gia công chế tạo... (hình 6).

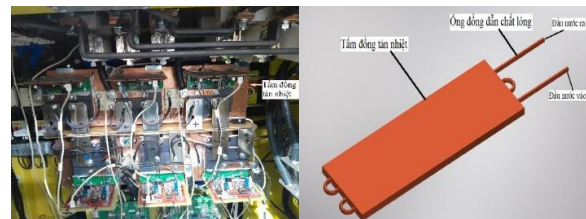


Hình 6: Các dạng cơ bản của tấm tản nhiệt

Các tấm tản nhiệt kiểu lỗ có rãnh và kiểu đúc có kết cấu phức tạp, chi phí gia công cao nên ít được sử dụng. Với kiểu phin, mặc dù hiệu quả tản nhiệt cao, tuy nhiên khó đảm bảo về khả năng làm kín nước, điều này đặc biệt quan trọng do môi trường làm việc của tấm tản nhiệt ở trong vỏ phòng nổ không được phép tiếp xúc với nước, sẽ

gây cháy nổ thiết bị. Kiểu ống kín là kiểu thông dụng nhất do kết cấu đơn giản, hiệu suất tản nhiệt cao và dễ gia công chế tạo.

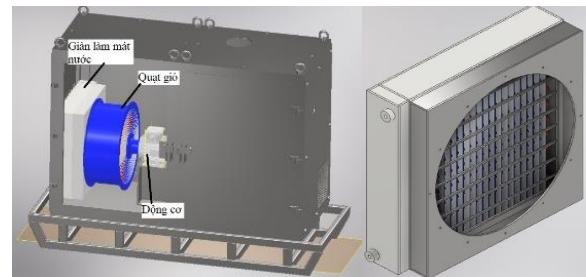
Xét về cấu trúc, biến tần có các thành phần IGBT, bộ chỉnh lưu, tụ lọc và các bộ phận điện khác khi lắp đặt trong vỏ phòng nổ sẽ phát sinh ra lượng nhiệt lớn, khi hoạt động hết công suất, lượng nhiệt do các thiết bị này tỏa ra có thể dao động từ 60-100 °C và gây nguy cơ cháy nổ rất cao. Việc làm mát nước từ mạch chính được thực hiện bên ngoài vỏ kín chống cháy nổ sẽ giúp hiệu quả lưu thông không khí làm mát tốt hơn.



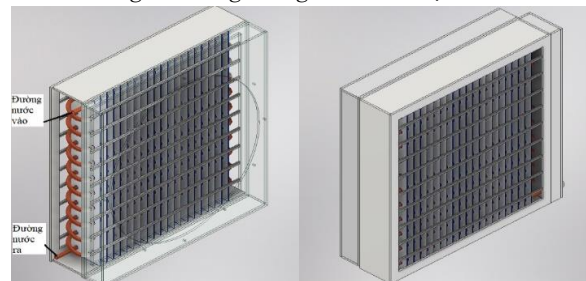
a) Hình ảnh thực tế b) Tấm đồng tản nhiệt làm mát IGBT bằng nước với ống nước làm mát

Hình 7: Cấu trúc hệ thống tản nhiệt và làm mát bằng nước

- Về cấu trúc hệ thống làm mát nước bằng không khí cưỡng bức (mạch làm mát thứ cấp):



a) Sơ đồ thiết bị khoang làm mát nước cưỡng bức bằng không khí trước bộ làm mát nước



c) Kết cấu bộ làm mát nước cưỡng bức bằng không khí d) Hình ảnh phía sau bộ làm mát nước cưỡng bức

Hình 8: Kết cấu hệ thống làm mát nước cưỡng bức bằng không khí của biến tần

Hệ thống làm mát nước bằng không khí được bố trí độc lập với tủ biến tần phòng nổ. Việc này giúp tối ưu hóa kích thước tủ biến tần và tăng hiệu quả tản nhiệt của mạch làm mát thứ cấp. Trong hệ thống này, các thông số về lưu lượng nước trong ống, kết cấu của hệ thống ống dẫn và lưu lượng gió từ quạt làm mát là các yếu tố then chốt ảnh hưởng đến nhiệt độ của nước tại đầu ra của hệ thống (tức là hiệu suất của mạch làm mát thứ cấp).

4 Kết luận

Trên thực tế, việc lựa chọn phương pháp làm mát biến tần phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau xuất phát từ yêu cầu về nhiệt độ cần làm

mát, điều kiện sử dụng, khả năng cung cấp thiết bị và đảm bảo hiệu quả về kinh tế.

Tuy nhiên, khi xét về hiệu quả làm mát thì biến tần làm mát bằng chất lỏng đáp ứng được đầy đủ các yêu cầu trên nếu so sánh với biến tần làm mát bằng không khí, đồng thời giúp tiết kiệm năng lượng do giảm thất thoát điện trên các thiết bị điện-điện tử công suất lớn.

Biến tần làm mát bằng chất lỏng sử dụng trong môi trường khai thác hầm lò sẽ có kích thước nhỏ hơn nhiều so với loại làm mát bằng không khí (có thể giảm đến 70%), độ bền cao hơn, công suất lớn hơn, tiết kiệm chi phí và năng lượng hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Bùi Hải, Dương Đức Hồng, Hà Mạnh Thư.** Thiết bị trao đổi nhiệt. Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2001, 469 tr.
2. **Hoàng Đình Tín.** Truyền nhiệt và tính toán thiết bị trao đổi nhiệt. Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2001, 596 tr.
3. **Bahman A.S., Blaabjerg F.** Optimization Tool for Direct Water Cooling System of High Power IGBT Modules. *18th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'16 ECCE Europe)*, Karlsruhe, Germany, 2016, PP. 1-10.
4. **Shinichiro Adachi, Akihiro Odaka, Fumio Nagaune, Peter Dietrich, Akio Toba, Akira Nishiura.** Direct Liquid Cooling Technology of IGBT Modules for Electric and Hybrid Vehicles. *PCIM Europe 2012 conference*, PP. 825-832.
5. **Tuma Phillip.** Passive 2-Phase Liquid Techniques to Control Temperatures in Microelectronics and Power Systems. 2010.
6. **Gnielinski V.** New Equations for Heat and Mass Transfer in Turbulent Pipe and Channel Flow. *Int. Chem. Eng.*, 1976, Vol. 16, PP. 359-368.
7. **Rohsenow W.M., Hartnett J.P., Ganic E.N.** Handbook of Heat Transfer Applications. McGraw-Hill, New York, 1985.
8. **Chen Y.Y., Li Y.B.** Thermal Analyses of Power Electronics Integrated with Vapour Chamber Cooling. *Automot. Innov.*, 3, 2020, PP. 328-335.