

# SÁCH TRẮNG

VỀ VAV BOX QUẠT SONG SONG / NỐI TIẾP CÓ SỬ OỈ

Tài liệu nghiên cứu bởi phòng R&D, Công ty Ngôi Sao Châu Á. Nhằm cung cấp thông tin, kiến thức về các loại VAV Box, tính năng, tác dụng, sự giống và khác nhau, phạm vi ứng dụng của sản phẩm. Không nhằm mục đích nào khác.

## *Lời giới thiệu:*

Tài liệu này cung cấp thông tin chi tiết về **hộp VAV fan-powered (Variable Air Volume) có quạt hỗ trợ**, bao gồm cấu tạo và nguyên lý hoạt động của hai loại chính là **song song (parallel)** và **nối tiếp (series)**. Cả hai loại đều điều chỉnh lưu lượng gió cấp theo nhu cầu tải lạnh/nhiệt và sử dụng quạt để tuần hoàn gió và hỗ trợ sưởi:

1. Nguyên lý hoạt động cơ bản:
2. Điểm khác biệt chính:
3. Phương thức điều khiển tích hợp:
4. Cấu tạo chi tiết các bộ phận chính:
5. So sánh cấu tạo giữa loại song song và nối tiếp:
6. Sơ đồ nguyên lý kết nối:
7. So sánh ưu nhược điểm giữa cấu hình song song và nối tiếp
8. Các câu hỏi thường gặp
9. Câu hỏi trắc nghiệm và câu trả lời
10. Câu hỏi thảo luận
11. Các thuật ngữ tên gọi tiếng Anh và tiếng Việt

# VAV Box Fan-Powered (Quạt Song song & Nối tiếp) – Cấu tạo và Điều khiển

## 1. Nguyên lý hoạt động của hộp VAV fan-powered (song song vs nối tiếp)

**Hộp VAV fan-powered** là loại hộp điều tiết gió (VAV – Variable Air Volume) có tích hợp quạt bên trong để hỗ trợ cấp gió cho vùng điều hòa. Cả hai cấu hình song song (parallel) và nối tiếp (series) đều có nhiệm vụ điều chỉnh lưu lượng gió cấp theo tải lạnh/nhiệt của không gian, đồng thời tận dụng quạt để cung cấp gió tuần hoàn và hỗ trợ sưởi khi cần. Tuy nhiên, cách thức vận hành của quạt trong hai loại này khác nhau cơ bản:

- **Loại song song (Parallel):** Quạt **không chạy** trong chế độ làm lạnh bình thường; lưu lượng gió điều hòa được điều chỉnh chỉ bằng van (damper) trên đường gió chính từ AHU. Khi nhu cầu sưởi tăng lên (nhiệt độ phòng xuống thấp dưới điểm cài đặt trong khi van gió chính đã đóng gần đến lưu lượng tối thiểu), quạt sẽ **khởi động** để hút không khí ấm từ plenum trần (không gian trần giả hồi khí) và cấp bổ sung vào phòng (HVAC System Details). Không khí hồi ấm này trộn với dòng khí lạnh chính, giúp tăng nhiệt độ cấp. Nếu quạt chạy mà vẫn chưa đáp ứng đủ tải sưởi, **đường sinh nhiệt** sẽ được kích hoạt – ví dụ mở van nước nóng hoặc bật điện trở sưởi – để nâng nhiệt độ gió cấp lên mức yêu cầu (HVAC System Details). Quạt kiểu song song thường chỉ chạy **gián đoạn khi cần sưởi**, giúp tiết kiệm điện năng trong chế độ làm mát. (Trong **trình tự điều khiển cụ thể**, thường van gió chính sẽ đóng về lưu lượng tối thiểu trước khi quạt và bậc sưởi được bật, nhằm hạn chế gió lạnh trộn lẫn khi sưởi (Microsoft Word - IOM-Fan-PoweredVAV0906.doc).)
- **Loại nối tiếp (Series):** Quạt được **đặt nối tiếp trên dòng khí cấp** và **hoạt động liên tục** trong suốt thời gian vận hành hệ thống (giờ chiếm dụng). Điều này có nghĩa là lưu lượng gió cấp vào vùng luôn được duy trì **gần như không đổi**, bất kể nhu cầu tải lạnh hay tải sưởi (HVAC System Details). Khi phòng cần ít lạnh hơn, bộ điều khiển sẽ **đóng bớt van** gió

lạnh từ AHU, đồng thời quạt sẽ hút thêm không khí hồi (không khí trần) bù vào để vẫn giữ tổng lưu lượng gió cấp ổn định. Ngược lại, khi tải tăng, van gió chính mở ra nhiều hơn và lượng gió hồi trộn vào sẽ giảm đi tương ứng. Trong chế độ sưởi, sau khi van gió chính đã về mức tối thiểu bắt buộc, cuộn sưởi (nước nóng hoặc điện) sẽ được **tăng công suất** để nâng nhiệt độ gió cấp lên, trong khi quạt vẫn chạy đều để đảm bảo lưu lượng gió lưu thông liên tục (HVAC System Details). Nhờ quạt chạy liên tục, loại nối tiếp cung cấp **luồng gió thường xuyên và ổn định** đến không gian điều hòa, giúp tránh hiện tượng thiếu gió tươi ở lưu lượng thấp.

*Như vậy, sự khác biệt chủ yếu nằm ở chế độ hoạt động của quạt: Hộp fan-powered song song chỉ chạy quạt khi sưởi (gián đoạn), còn hộp nối tiếp chạy quạt liên tục cả ở chế độ lạnh lẫn sưởi. Cả hai đều tận dụng nhiệt thừa trên trần (nhiệt từ đèn, thiết bị, trần nhà) để hỗ trợ sưởi ấm cho vùng và chỉ kích hoạt cuộn sưởi (reheat) khi cần thiết bổ sung (Parallel Fan Powered VAV (TVS) | Johnson Controls) (Microsoft Word - IOM-Fan-PoweredVAV0906.doc). Trong vận hành thực tế, hộp song song tiết kiệm điện quạt hơn khi làm lạnh, trong khi hộp nối tiếp đảm bảo lưu lượng và sự luân chuyển không khí tốt hơn, đặc biệt hữu ích để duy trì chất lượng không khí (IAQ) và tránh phân tầng nhiệt độ trong phòng.*

## **2. Phương thức điều khiển tích hợp (quạt ECM và van Belimo cho cuộn sưởi)**

Việc điều khiển hộp VAV fan-powered hiện đại được thực hiện bởi bộ điều khiển điện tử (DDC controller) tích hợp, phối hợp nhịp nhàng giữa **động cơ quạt ECM, cơ cấu van/van gió (vd. Belimo)** và **thiết bị sưởi** để duy trì nhiệt độ và lưu lượng theo yêu cầu. Dưới đây là cách thức điều khiển các thành phần chính:

- **Điều khiển quạt ECM:** ECM (*Electronically Commutated Motor*) là loại động cơ điện một chiều không chổi than có mạch điện tử tích hợp, cho phép điều chỉnh tốc độ quay một cách tuyến tính và hiệu suất cao. Bộ điều khiển VAV gửi tín hiệu điện (thường là analog 0-10 V DC hoặc tín hiệu PWM) để điều chỉnh tốc độ quạt ECM. Quạt ECM phản hồi gần tuyến tính với điện áp đầu vào: ví dụ tín hiệu 0-10 VDC tương ứng 0-100% tốc độ quạt. Nhiều hãng thiết bị thiết kế sẵn mạch

PWM/ECM để nhận lệnh 0-10 V từ bộ DDC trung tâm ([\[PDF\] fan powered terminals - Titus HVAC](#)). Điều này cho phép quạt thay đổi lưu lượng gió một cách mượt mà tùy theo nhu cầu: Trong hộp **nối tiếp**, bộ điều khiển có thể giảm tốc quạt ở tải thấp nhằm tiết kiệm năng lượng nhưng vẫn duy trì lưu lượng gió thông gió tối thiểu; còn trong hộp **song song**, quạt ECM có thể khởi động ở tốc độ thấp rồi tăng dần (soft-start) để tránh gây ồn đột ngột và có thể chạy ở một tốc độ thấp liên tục ngay cả khi làm lạnh (nhiều kỹ sư hiện nay cài đặt quạt song song chạy liên tục ở tốc độ thấp để trộn không khí tốt hơn và tránh bật/tắt đột ngột) ([Terminal Unit Product Guide](#)). Nhờ ECM, quạt đạt hiệu suất cao ở dải tốc độ rộng, giảm đáng kể tổn thất điện năng so với động cơ AC thông thường (PSC) và cho phép điều khiển chính xác lưu lượng gió. Ngoài ra, ECM tỏa nhiệt ít hơn và độ bền cao (vòng bi tốt, không có chổi than mòn), giúp tăng tuổi thọ hệ thống – tuổi thọ kỳ vọng của động cơ ECM thường cao hơn đáng kể so với động cơ PSC tương đương ([Microsoft Word - 2 ECM Paper r3.doc](#)).

- **Điều khiển van Belimo và cuộn sưởi:** Đối với **cuộn nước nóng**, van điều khiển (thường là van 2 ngã hoặc 3 ngã hiệu **Belimo** hoặc tương đương) được lắp trên đường ống nước nóng vào coil. Van Belimo này thường là loại điều khiển tuyến tính (van bi đặc tuyến hoặc van cầu), sử dụng mô-tơ điện 24 VAC với tín hiệu điều khiển 0(2)-10 V DC để mở tỷ lệ từ 0-100% dòng nước ([Belimo B317B+TFRB24-SR-S | 3 Way 3/4" CCV Valve | ZOT Supply](#)). Bộ điều khiển VAV sẽ xuất tín hiệu analog tương ứng với nhu cầu sưởi: khi cần sưởi nhiều, tín hiệu tăng dần để van mở lớn (cho nhiều nước nóng qua coil); khi gần đạt nhiệt độ đặt, tín hiệu giảm đóng bớt van lại. Nhờ đó công suất sưởi được điều chỉnh **mượt và liên tục**. Trường hợp dùng **điện trở sưởi (điện trở điện)**, bộ điều khiển sẽ điều khiển qua các tầng công suất (stages) hoặc bộ module điều áp (SCR) để điều chỉnh nhiệt đầu ra. Thông thường, điện trở sưởi có ít nhất 2 cấp hoặc điều khiển on/off theo chu kỳ để đạt hiệu ứng tương tự tuyến tính. Trong cả hai loại cuộn sưởi, một quy tắc quan trọng là **cuộn sưởi chỉ hoạt động khi van gió chính đã về mức tối thiểu** – nhằm tuân thủ quy định tiết kiệm năng lượng, tránh vừa làm lạnh vừa sưởi đồng thời. Chẳng hạn, bộ điều khiển chỉ mở van nước nóng hoặc bật điện trở khi nhận biết van gió

đã đóng đến lưu lượng tối thiểu cho phép (HVAC System Details). Ngoài ra, hộp VAV thường được trang bị **cảm biến nhiệt độ gió cấp** (discharge air sensor) để giới hạn nhiệt độ tối đa khi sưởi, ngăn ngừa thổi gió quá nóng gây khó chịu hoặc mất an toàn. Nếu nhiệt độ gió cấp vượt ngưỡng cài đặt (ví dụ 50°C), bộ điều khiển sẽ giảm tín hiệu van hoặc ngắt điện trở sưởi, và có **rơ-le bảo vệ nhiệt** (thermal cut-off) độc lập để ngắt điện trở khi quá nhiệt.

- **Phối hợp điều khiển tổng thể:** Bộ điều khiển VAV nhận tín hiệu từ **cảm biến nhiệt độ phòng** (thường là thermostat gắn tường hoặc cảm biến nhiệt độ trả về từ BMS) và **cảm biến lưu lượng gió** (cảm biến chênh áp trên cổ ống của hộp VAV) để xác định trạng thái phòng (đang cần làm lạnh, trung tính hay sưởi). Dựa trên đó, nó xuất lệnh đồng thời đến van gió cấp (điều chỉnh damper), quạt ECM và cuộn sưởi theo một **thuật toán điều khiển liên kết**. Ví dụ: khi phòng thừa nhiệt (quá nóng so với setpoint), bộ điều khiển chuyển sang chế độ làm mát – mở van gió cấp dần lên (tăng lưu lượng lạnh), đồng thời tắt sưởi (đóng van nước nóng 0%) và giữ quạt chạy (đối với hộp nối tiếp, quạt vẫn chạy liên tục; hộp song song có thể tắt quạt nếu không cần thông gió nhiều). Ngược lại, khi phòng quá lạnh dưới setpoint, bộ sẽ đóng van gió lạnh về lưu lượng tối thiểu, bật quạt (nếu là loại song song) và tăng dần van nước nóng mở để cung cấp nhiệt. Trong dải tải trung gian, bộ điều khiển có thể điều chỉnh đồng thời cả van gió và tốc độ quạt ECM để duy trì nhiệt độ mà vẫn đảm bảo lưu lượng thông gió tối thiểu theo yêu cầu. Tất cả các tín hiệu này thường là tín hiệu analog tuyến tính (0-10 V hoặc 4-20 mA) được lập trình sẵn trong controller. Hầu hết các hộp VAV fan-powered ngày nay đều kết nối vào hệ thống **BMS** tòa nhà qua giao thức như BACnet hoặc Modbus, cho phép giám sát và hiệu chỉnh từ trung tâm. BMS có thể gửi setpoint nhiệt độ phòng, chế độ Occupied/Unoccupied (để giảm tốc quạt hoặc tắt quạt khi không sử dụng vào ban đêm) và nhận về các giá trị như lưu lượng hiện tại, trạng thái van, tốc độ quạt, nhiệt độ gió cấp... Bộ điều khiển VAV đóng vai trò như PLC vùng, đảm bảo các thiết bị (quạt ECM, van Belimo, điện trở) hoạt động nhịp nhàng đáp ứng cả yêu cầu **điều tiết nhiệt độ lẫn duy trì lưu lượng gió tươi** cho phòng.

Tóm lại, phương thức điều khiển tích hợp của hộp fan-powered VAV tận dụng các ưu điểm của quạt ECM (dễ điều chỉnh tốc độ, hiệu suất cao) và van/mô tơ Belimo (điều khiển tuyến tính chính xác) để quản lý cả **lưu lượng gió và công suất sưởi** theo tải. Cách điều khiển này giúp duy trì môi trường nhiệt độ thoải mái, tiết kiệm năng lượng (nhờ tối ưu tốc độ quạt và chỉ sưởi khi cần thiết) và đảm bảo tuân thủ các yêu cầu về thông gió và an toàn.

### 3. Cấu tạo chi tiết các bộ phận chính trong hộp VAV fan-powered

**Các thành phần chính:** Một hộp VAV fan-powered bao gồm các bộ phận cơ bản sau đây ([HVAC System Details](#)):

- **Vỏ hộp và lớp cách nhiệt:** Thân vỏ kim loại dạng hộp chữ nhật, bên trong có **lớp lót cách âm/cách nhiệt** (thường là mút hoặc bông thủy tinh) để giảm ồn và tránh ngưng tụ. Vỏ hộp có các mặt bích để nối với ống gió vào/ra.
- **Cửa gió vào và cảm biến lưu lượng:** Phần **cổ ống gió vào (inlet)** thường dạng ống tròn, nối với **ống gió cấp chính** từ AHU. Tại cổ ống vào có **cảm biến lưu lượng** (dạng ống thẳng hoặc vành đo lưu lượng kiểu pitot “FlowStar”, cross sensor...) để đo áp suất động hoặc chênh áp, từ đó suy ra lưu lượng gió qua hộp ([Parallel Fan Powered VAV \(TVS\) | Johnson Controls](#)). Cảm biến này kết nối tới bộ điều khiển để thực hiện điều khiển lưu lượng chính xác (pressure-independent VAV).
- **Van điều tiết lưu lượng (Damper) và động cơ:** Bên trong cổ ống vào có một **cánh van điều tiết** hình tròn (hoặc bán nguyệt) gắn trên trục, được điều khiển bởi **động cơ damper** (thường là động cơ điện nhỏ, hãng như Belimo, KMC...). Động cơ này nhận tín hiệu từ bộ điều khiển VAV để xoay van, **điều chỉnh lưu lượng gió cấp từ đường ống chính** vào hộp (mở lớn khi cần nhiều lạnh, đóng bớt khi giảm tải). Nhiều thiết bị tích hợp động cơ van và cảm biến lưu lượng thành **bộ actuator VAV compact** nhằm tối ưu không gian và hiệu năng.
- **Quạt và động cơ ECM:** Bên trong phần vỏ hộp có **cụm quạt ly tâm (blower)** gắn với **động cơ ECM**. Quạt này có cửa hút (inlet) thường hướng về phía không gian trần để hút không khí hồi (induced air) và cửa đẩy (outlet) nối vào đoạn ống gió ra của hộp. Động cơ quạt loại



ECM được đặt trong vỏ quạt hoặc bên ngoài, kết nối với cánh quạt ly tâm. Khi hoạt động, quạt sẽ **hút không khí từ plenum trần** (qua cửa hút hồi trên thân hộp) và/hoặc kéo khí từ đường ống chính qua van, tùy theo loại hộp (xem phần song song/nối tiếp bên dưới). Cụm quạt thường có thêm **khung hoặc giá đỡ giảm chấn** để hạn chế rung động truyền ra ngoài ([VAV terminal unit types - Johnson Controls - Applied Packaged Rooftop Units - Premier Packaged Rooftop Units - Premier](#)).

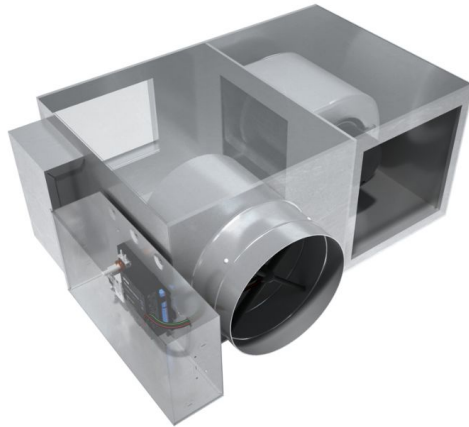
- **Cửa hồi (return air opening):** Là **miệng hút không khí hồi** từ trần vào hộp quạt. Trên vỏ hộp sẽ có một cửa mở (có lưới hoặc để trống) thông với khoang quạt, cho phép không khí trần (thường ấm) đi vào quạt để trộn với khí lạnh. Vị trí cửa hồi này khác nhau giữa hai loại hộp (song song hay nối tiếp) như mô tả bên dưới.
- **Bộ phận chống hồi lưu (đối với loại song song):** Hộp fan-powered song song được trang bị **cửa một chiều (backdraft damper)** nằm trên vách ngăn giữa khoang quạt và đường gió chính. Đây là cánh van lò xo nhẹ, cho phép quạt đẩy khí từ plenum vào ống gió cấp khi quạt chạy, nhưng sẽ **đóng lại** khi quạt tắt để ngăn dòng khí lạnh từ ống chính trào ngược ra plenum ([Microsoft Word - IOM-Fan-PoweredVAV0906.doc](#)). Cửa một chiều này rất quan trọng để hệ thống hoạt động đúng chức năng và tránh thất thoát lạnh.
- **Cuộn sưởi (Heating coil):** Lắp trên đường gió ra của hộp, ngay sau quạt (với loại nối tiếp) hoặc tại cửa hút hồi của quạt (với loại song song có coil nước nóng trước quạt) ([Microsoft Word - IOM-Fan-PoweredVAV0906.doc](#)). Có hai loại cuộn sưởi phổ biến:
  - **Cuộn nước nóng:** Là bộ trao đổi nhiệt ống đồng cánh nhôm nhỏ, 1-2 hàng ống, nối với đường nước nóng. Trên coil có **van điều khiển (Belimo)** như đã nêu, và thường có cảm biến nhiệt độ để chống đóng băng.
  - **Điện trở sưởi:** Là các thanh điện trở (heater elements) bố trí trong khung kim loại, thường có nhiều bậc công suất. Cuộn điện trở tích hợp các **rơ-le quá nhiệt** (như nhiệt tĩnh reset tay và nhiệt cầu chì ngắt vĩnh viễn) để đảm bảo an toàn.



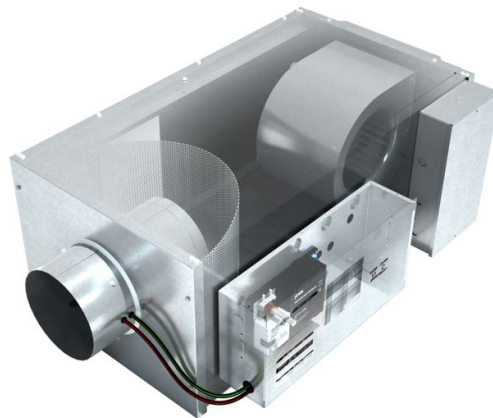
- **Hộp điều khiển và phần điện:** Mỗi hộp VAV fan-powered đều có một **hộp điện** (control enclosure) gắn bên ngoài vỏ, chứa đấu nối dây và có thể chứa **bộ điều khiển DDC** nếu đi kèm. Bên trong hộp điện có các thiết bị: cầu đấu dây, biến áp (nếu cần hạ áp từ 230V xuống 24V cho điều khiển), rơ-le/quạt contactor, mạch điều tốc PWM cho ECM (tuỳ hãng), cầu chì, v.v. Trên nắp hoặc bên trong hộp điện thường dán **sơ đồ đấu dây** và **nhãn hiệu chính** để thợ vận hành tham khảo ([\[PDF\] CFR Series Fan-Powered, VAV Terminals - Johnson Controls](#)). Hộp điện này là nơi đấu nối nguồn cấp cho quạt, điện trở sưởi, và kết nối dây tín hiệu từ BMS/thermostat, cảm biến, cơ cấu chấp hành.

Dưới đây là hình ảnh cấu tạo bên trong của hai loại hộp fan-powered VAV (song song và nối tiếp) cùng các thành phần chính:

([Terminal Unit Product Guide](#)) **Hình 1:** Cấu tạo **hộp VAV fan-powered loại song song** (Parallel). Hộp song song có **vách ngăn** chia khoang đường gió chính (bên trái) và khoang quạt (bên phải). Cụm quạt ly tâm (màu đen) nằm trong khoang bên phải, cửa hút của quạt hướng lên trên để lấy khí hồi từ trần (Induction Air). Trên vách ngăn giữa hai khoang có **cửa chống hồi lưu (Backdraft Damper)** cho phép không khí do quạt thổi ra đi vào ống gió cấp (hướng mũi tên đen) và ngăn khí lạnh rò ngược khi quạt ngừng ([Microsoft Word - IOM-Fan-PoweredVAV0906.doc](#)). Phía bên trái là **đường gió cấp chính (Primary Air)** với van điều tiết lưu lượng gắn cảm biến chênh áp (đo lưu lượng). Khi quạt tắt, chỉ có khí lạnh từ đường chính qua van vào phòng; khi quạt chạy, khí ấm trần được quạt hút vào trộn với khí lạnh. (Hộp song song thường đặt **cuộn sưởi** ngay tại cửa hút hồi của quạt – ví dụ cuộn nước nóng bố trí trước quạt như hộp ở hình trên – để quạt có thể thổi không khí qua cuộn sưởi và ra ngoài miệng gió).



([Terminal Unit Product Guide](#)) **Hình 2: Cấu tạo hộp VAV fan-powered loại nối tiếp (Series).** Hộp nối tiếp **không có vách ngăn tách rời khoang quạt**, thay vào đó **quạt đặt thẳng trên đường gió chính**. Trong hình, ta thấy quạt ly tâm (phải) nằm nối tiếp với ống gió vào (tròn, bên trái). Tất cả không khí cấp cho phòng đều phải đi qua quạt: quạt hút một phần từ **đường gió chính** (ống tròn nối AHU) và phần còn lại từ **cửa hút hồi** (khoang lưới ở phía trên của thân hộp). Nhờ vậy, quạt chạy liên tục sẽ trộn không khí lạnh từ AHU với không khí hồi ấm để duy trì nhiệt độ cấp ổn định. Loại này **không cần cửa hồi lưu một chiều**, do quạt luôn chạy không cho khí lạnh trào ngược. **Cuộn sưởi** (nếu có) thường được lắp **sau quạt** trên đoạn ống ra, để khi sưởi quạt đẩy không khí qua coil và tăng nhiệt độ trước khi vào phòng. Cũng như loại song song, thành phần van điều tiết lưu lượng và cảm biến lưu lượng nằm ở cửa ống gió vào phía trước (không thấy trong góc nhìn này).



**So sánh cấu tạo:** Cả hai loại đều có đầy đủ các thành phần nêu trên, sự khác biệt chính nằm ở **vị trí quạt trong dòng khí** và sự cần thiết của cửa chống hồi lưu:

- **Hộp song song:** Quạt nằm **song song với đường gió chính** (ở nhánh hút khí hồi), có vách ngăn và cửa một chiều. Khi quạt tắt, hộp hoạt động như VAV thường (chỉ cấp khí từ đường chính); khi quạt chạy, khí hồi được đẩy vào đường cấp qua cửa một chiều ([Microsoft Word - IOM-Fan-PoweredVAV0906.doc](#)). Do đó cần chú ý độ kín của cửa một chiều và vỏ hộp để tránh rò rỉ khí lạnh ra trần khi quạt ngừng (vấn đề rò rỉ này sẽ ảnh hưởng hiệu suất năng lượng) ().
- **Hộp nối tiếp:** Quạt nằm **nối tiếp trực tiếp** trên dòng khí cấp, nên **mọi lưu lượng đều qua quạt** ([Terminal Unit Product Guide](#)). Quạt chạy liên tục đảm bảo gió ra luôn có lưu lượng nhất định. Cấu trúc này đơn giản hơn ở chỗ không cần cửa một chiều, nhưng quạt phải chịu toàn bộ thời gian hoạt động. Vỏ hộp nối tiếp thường được thiết kế thêm đệm giảm chấn nội bộ để giảm rung động do quạt chạy 24/7 ([VAV terminal unit types - Johnson Controls - Applied Packaged Rooftop Units - Premier Packaged Rooftop Units - Premier](#)).

#### 4. Sơ đồ nguyên lý kết nối giữa các bộ phận và hệ thống điều khiển

Việc đấu nối và kết nối tín hiệu của một hộp VAV fan-powered nhìn chung gồm các phần: **cấp nguồn, tín hiệu điều khiển nội bộ** giữa controller với các thiết bị, và **kết nối với hệ thống quản lý tòa nhà (BMS) hoặc thermostat**. Dưới đây là mô tả nguyên lý kết nối:

- **Nguồn cấp điện:** Quạt fan-powered thường sử dụng nguồn điện xoay chiều 1 pha áp cao (ví dụ 220–240V hoặc 277V tùy thị trường) đấu trực tiếp vào động cơ quạt ECM. Động cơ ECM có mạch điện tử tích hợp, vì vậy chỉ cần cấp nguồn AC và tín hiệu điều khiển tốc độ, không cần biến tần rời. Đối với cuộn điện trở sưởi, nguồn điện cấp có thể là 1 pha hoặc 3 pha (tùy công suất), đấu qua các contactor hoặc SSR điều khiển bởi bộ điều khiển. Các thiết bị điều khiển như van Belimo, động cơ damper, và bản thân bộ điều khiển VAV thường dùng nguồn 24VAC (được cung cấp từ tủ điều khiển trung tâm hoặc một biến áp giảm áp cục bộ trên hộp). Ví dụ, van Belimo và mô-tơ damper phổ

biển dùng 24 VAC, công suất nhỏ vài VA ([Belimo B317B+TFRB24-SR-S | 3 Way 3/4" CCV Valve | ZOT Supply](#)).

- **Tín hiệu điều khiển nội bộ:** Bộ điều khiển VAV (thường đặt trong hộp điện) đóng vai trò trung tâm, nhận tín hiệu từ cảm biến và gửi tín hiệu đến các cơ cấu chấp hành:
  - *Cảm biến nhiệt độ phòng:* Thường là thermostat gắn tường trong phòng hoặc cảm biến nhiệt độ không khí hồi, gửi giá trị nhiệt độ hiện tại về bộ điều khiển (dạng tín hiệu số nếu là mạng BACnet, hoặc tương tự 0-10V/NTC nếu là thermostat analog).
  - *Cảm biến lưu lượng:* Gắn trên cổ ống vào, thường là cảm biến chênh áp nối về 2 cổng trên bo điều khiển VAV. Bộ điều khiển đo và tính toán ra lưu lượng (CFM) tức thời để so sánh với setpoint.
  - *Động cơ van gió (damper actuator):* Bộ điều khiển gửi tín hiệu 0-10 V DC hoặc PWM tới động cơ damper (nếu không phải loại tích hợp). Trong nhiều trường hợp, động cơ damper và cảm biến lưu lượng được tích hợp sẵn (như dòng Belimo VAV Compact), bộ điều khiển chỉ gửi lệnh dạng digital (qua mạng) hoặc analog tổng quát.
  - *Động cơ quạt ECM:* Bộ điều khiển xuất tín hiệu điều tốc cho quạt – thường là **tín hiệu analog 0-10 VDC** như đã đề cập. Động cơ ECM của quạt được nối với bộ điều khiển thông qua dây tín hiệu nhiều lõi (thường 3-4 dây gồm +10V, GND, Signal...). Khi bộ điều khiển thay đổi điện áp tín hiệu, mạch điều khiển của ECM sẽ thay đổi tốc độ quạt tương ứng ([\[PDF\] fan powered terminals - Titus HVAC](#)). Ngoài ra, có dây điều khiển **bật/tắt quạt** (enable) dạng digital hoặc relay: ví dụ bộ điều khiển đóng rơ-le để cấp điện cho quạt (đối với hộp song song, bật quạt khi sưởi) hoặc ngắt để tắt quạt.
  - *Van Belimo cho nước nóng:* Bộ điều khiển gửi tín hiệu analog 0-10 V đến **động cơ van Belimo** trên đường nước nóng. Van sẽ mở tỉ lệ theo tín hiệu này (ví dụ 5 V tương ứng ~50% hành trình van). Một số loại van Belimo có tích hợp phản hồi vị trí, nhưng

trong nhiều ứng dụng VAV, việc phản hồi không bắt buộc vì bộ điều khiển tác động trực tiếp mức mở van theo nhu cầu nhiệt (HVAC System Details). Nếu dùng điện trở sưởi, bộ điều khiển sẽ gửi tín hiệu on/off đến các tầng thông qua rơ-le hoặc tín hiệu điều khiển module SCR (cũng thường bằng 0-10 V tương tự van).

- *Cảm biến khác:* Hộp có thể có cảm biến nhiệt độ gió cấp sau cuộn sưởi. Tín hiệu này đưa về bộ điều khiển để chế độ limit. Ngoài ra, một số hộp có công tắc chênh áp hoặc sensor dòng khí để **xác nhận dòng khí** trước khi bật điện trở sưởi (yêu cầu quạt chạy thì mới cho phép heater on, đảm bảo không quá nhiệt).
- **Kết nối với BMS/thermostat:** Nếu hệ thống có **BMS**, bộ điều khiển VAV thường là module có địa chỉ mạng (BACnet MS/TP, BACnet IP, LonWorks hoặc Modbus). Tín hiệu từ BMS bao gồm: giá trị nhiệt độ đặt (setpoint) cho vùng, trạng thái Occupied/Unoccupied, và các lệnh override (ví dụ bật chế độ sưởi tối đa, hay chế độ thông gió ban đêm). Ngược lại, bộ điều khiển gửi về BMS các thông số: nhiệt độ phòng đo được, lưu lượng hiện tại, độ mở van, tốc độ quạt, báo lỗi (nếu quạt hỏng, quá nhiệt...). Trong trường hợp không có BMS, hộp VAV có thể được điều khiển bằng **thermostat độc lập**: ví dụ thermostat điện tử 0-10V có 2 kênh analog (1 kênh điều khiển lạnh – damper, 1 kênh điều khiển sưởi) (45-5si). Thermostat sẽ nối trực tiếp vào bộ điều khiển/hộp điện của VAV. Nguồn nuôi thermostat (thường 16-18 VDC) được cấp từ controller, và tín hiệu nhiệt độ (0-10V) được đọc bởi controller để điều khiển tương tự như có BMS.

*Tóm lại, sơ đồ kết nối bao gồm **mạch động lực** (cấp nguồn quạt, điện trở) và **mạch điều khiển** (các tín hiệu low-voltage giữa controller với cảm biến/thiết bị chấp hành, cùng đường truyền thông tới BMS). Tất cả được tổ hợp bên trong hộp VAV fan-powered thành một hệ thống thống nhất. Hãng sản xuất thường cung cấp nhãn hoặc tài liệu hướng dẫn đấu nối gắn ngay trên hộp để thuận tiện cho lắp đặt và vận hành ([PDF] CFR Series Fan-Powered, VAV Terminals - Johnson Controls).*

(Ví dụ: Hệ thống điều khiển của Belimo tích hợp cho VAV, như dòng VRP-M, có thể điều khiển đồng thời van gió, quạt EC và van nước nóng theo lập trình cài sẵn, giúp đơn giản hóa đấu nối. Hoặc một van Belimo loại **CCV (Characterized Control Valve)** 3 ngã cỡ 3/4" thường dùng cho coil VAV sẽ có thông số: cấp nguồn 24VAC, tín hiệu điều khiển 2-10 VDC, lưu lượng định mức ~9.4 GPM – phù hợp điều khiển tuyến tính nhiệt coil VAV ([Belimo B317B+TFRB24-SR-S | 3 Way 3/4" CCV Valve | ZOT Supply](#)).

## 5. So sánh ưu nhược điểm giữa cấu hình song song và nối tiếp

Cả hai cấu hình fan-powered VAV đều nhằm mục đích cải thiện khả năng kiểm soát nhiệt độ và thông gió cho vùng so với VAV thường, nhưng chúng có những ưu nhược điểm riêng trong ứng dụng HVAC. Bảng sau tóm tắt một số điểm so sánh chính:

| Tiêu chí              | Fan-Powered Quạt Song Song (Parallel)   | Fan-Powered Quạt Nối Tiếp (Series)   |
|-----------------------|---|--|
| Hoạt động của quạt    | <i>Quạt chạy gián đoạn:</i> chỉ bật khi phòng cần sưởi (khi tải lạnh giảm thấp). Trong chế độ làm mát, quạt tắt, hộp hoạt động như VAV thường với lưu lượng thay đổi bằng damper ( <u><a href="#">HVAC System Details</a></u> ).  | <i>Quạt chạy liên tục:</i> hoạt động cả ở chế độ lạnh và sưởi. Quạt luôn duy trì một lưu lượng gió cấp không đổi về cơ bản, bất kể van gió chính đang mở nhiều hay ít ( <u><a href="#">HVAC System Details</a></u> ).  |
| Thông gió & tuần hoàn | Ở tải thấp (lúc quạt tắt), lưu lượng gió cấp giảm đến mức tối thiểu, có thể dẫn đến <b>giảm luồng không khí tuần hoàn</b> trong phòng. Khi quạt bật, luồng gió tăng lên, nhưng chế độ bật/tắt có thể gây dao động nhẹ về thông gió. Cần có <b>van một chiều</b> để ngăn gió hồi lưu, nhưng vẫn có rò rỉ một | Luôn đảm bảo <b>luồng không khí liên tục</b> trong không gian – quạt chạy liên tục cung cấp gió tuần hoàn ngay cả khi nhu cầu lạnh thấp. Nhờ lưu lượng ổn định, tránh được hiện tượng phân tầng nhiệt hay tụ khí cục bộ; cải thiện <b>IAQ</b> và độ đồng đều nhiệt độ trong phòng ( <u><a href="#">VAV terminal unit types - Johnson Controls - Applied Packaged Rooftop Units - Premier</a></u> |



| Tiêu chí            | Fan-Powered<br>Quạt Song Song (Parallel)  | Fan-Powered<br>Quạt Nối Tiếp (Series)  |
|---------------------|---|--|
|                     | phần khí lạnh ra trần khi quạt tắt (hao tổn năng lượng) ().   | Packaged Rooftop Units - Premier).   |
| Hiệu quả năng lượng | <p>Tiết kiệm điện năng cho quạt trong thời gian làm lạnh (quạt ngừng, không tiêu thụ điện). Phù hợp cho khu vực mà nhu cầu sưởi ít, quạt ít phải chạy. Tuy nhiên, nếu cửa hồi lưu (backdraft damper) không kín, có thể mất lạnh vào plenum và hiệu suất giảm (). Khi dùng động cơ ECM, mặc dù quạt ít chạy nhưng lợi ích ECM không phát huy nhiều do chế độ tắt hẳn quạt.</p> | <p>Tiêu thụ điện quạt liên tục – có thể cao hơn loại song song nếu dùng động cơ thường. Tuy nhiên với <b>động cơ ECM</b>, quạt series có thể chạy ở tốc độ thấp khi tải nhỏ, giảm điện năng đáng kể. Nghiên cứu cho thấy với công nghệ ECM, hộp nối tiếp có lợi thế về tiết kiệm năng lượng hơn so với song song trong nhiều trường hợp (<u>Difference Between Parallel &amp; Series Fan-Powered Terminals – Climate Systems Inc.</u>). Đồng thời, việc thu hồi nhiệt trần diễn ra liên tục, giảm nhu cầu sưởi từ nguồn ngoài.</p> |
| Độ ồn               | <p>Rất yên tĩnh trong chế độ làm lạnh (quạt tắt). Khi chuyển sang sưởi, có tiếng quạt bật có thể nghe thấy và luồng gió tăng đột ngột, <b>mức ồn có thể tăng</b> tạm thời. Cần thiết kế hồi lưu tốt để khi quạt chạy không gây tiếng hút gió rít.</p>   | <p>Độ ồn <b>ổn định liên tục</b> ở mức thấp đến trung bình tùy tốc độ quạt. Không có tiếng bật/tắt đột ngột. Mặc dù quạt chạy thường xuyên có thể tạo nên ồn nhẹ, nhưng với thiết kế ECM chạy êm và có giảm chấn, tiếng ồn có thể duy trì dưới ngưỡng cho phép một cách ổn định.</p>   |

| Tiêu chí                     | Fan-Powered<br>Quạt Song Song (Parallel)  | Fan-Powered<br>Quạt Nối Tiếp (Series)  |
|------------------------------|---|--|
| <b>Chi phí &amp; bảo trì</b> | <p>ít <b>tiêu thụ điện quạt</b> hơn → chi phí vận hành quạt thấp. Cấu tạo thêm van một chiều và điều khiển quạt on/off phức tạp hơn một chút. Quạt ít chạy nên <b>tuổi thọ</b> có thể cao, nhưng cần đảm bảo cửa một chiều và gioăng kín để tránh hỏng hóc gây rò gió. Phải kiểm tra van hồi lưu định kỳ (kẹt, rò).</p> | <p>Quạt chạy nhiều giờ hơn → cần động cơ bền. <b>ECM</b> giúp giảm hao mòn (do khởi động mềm, dòng thấp) và tuổi thọ cao (<a href="#">Microsoft Word - 2 ECM Paper r3.doc</a>). Không có cửa hồi lưu, cấu tạo đơn giản hơn phần khí động. Bảo trì tập trung vào quạt (bảo dưỡng motor, cánh quạt) và làm sạch cuộn sưởi. Điện năng quạt cao hơn loại song song nếu dùng động cơ cũ, nhưng với ECM và điều khiển tốt thì vận hành tối ưu và bền bỉ.</p> |

**Ứng dụng phù hợp:** Hộp fan-powered **song song** thường được dùng ở **vùng biên (perimeter)** tòa nhà – nơi tải lạnh ban ngày cao nhưng cần hỗ trợ sưởi vào sáng sớm hoặc mùa đông. Ở đó, ưu điểm quạt tắt khi làm lạnh giúp giảm ồn và tiết kiệm điện, và khi cần sưởi thì tận dụng nhiệt trần hiệu quả. Ngược lại, hộp **nối tiếp** phù hợp cho **vùng nội thất** hoặc những nơi yêu cầu lưu thông không khí liên tục (phòng hội họp lớn, khu vực có trần cao dễ bị phân tầng nhiệt). Hộp nối tiếp cũng được ưa chuộng khi hệ thống sử dụng nhiệt độ gió cấp rất thấp (ví dụ hệ thống tích trữ đá làm lạnh – nhiệt độ gió dưới 55°F ~ 13°C), vì quạt nối tiếp có thể trộn khí ấm đảm bảo gió cấp ra miệng không quá lạnh, duy trì ~55°F vào phòng ([Air System Basics: VAV - JDB Engineering](#)).

Về **tiêu thụ năng lượng tổng thể**, các nghiên cứu (ASHRAE RP-1292) cho thấy nếu được thiết kế và vận hành đúng, **cả hai loại** fan-powered (song song và nối tiếp) đều có thể đạt hiệu quả tương đương nhau ở cấp độ tòa nhà ([Difference Between Parallel & Series Fan-Powered Terminals – Climate Systems Inc.](#)). Sự khác biệt chủ yếu phụ thuộc vào điều kiện vận hành: với

động cơ quạt truyền thống, loại song song thường ít tốn điện quạt hơn; nhưng với động cơ ECM hiện đại, loại nối tiếp tận dụng được ưu thế điều chỉnh tốc độ, giúp giảm đáng kể điện năng và cải thiện phân phối nhiệt, do đó ngày càng được ưu tiên trong các thiết kế tiết kiệm năng lượng.

## 6. Tài liệu tham khảo từ các hãng sản xuất

- **Belimo:** Hãng Belimo cung cấp nhiều loại **van điều khiển** và **động cơ servo** cho ứng dụng VAV. Ví dụ, van bi điều khiển tuyến tính Belimo dòng CCV (Characterized Control Valve) cỡ 1/2”–3/4” thường được sử dụng cho coil nước nóng của VAV, với đặc tính dòng chảy equal percentage để điều khiển chính xác và mô-tơ điện 24V modulating 2-10V ([Belimo B317B+TFRB24-SR-S | 3 Way 3/4" CCV Valve | ZOT Supply](#)). Belimo cũng có các giải pháp **điều khiển VAV tích hợp** như bộ VAV-Compact (kết hợp cảm biến lưu lượng, controller và động cơ damper trong một thiết bị) và hệ thống VRP-M cho phép điều khiển cả quạt EC và van nước thông qua mạng BACnet/Modbus. Tài liệu kỹ thuật của Belimo (ví dụ **Brochure – VAV Universal** và datasheet van Belimo B3... series) cung cấp hướng dẫn chi tiết về lắp đặt van cho coil và đấu nối tín hiệu điều khiển ([Belimo B317B+TFRB24-SR-S | 3 Way 3/4" CCV Valve | ZOT Supply](#)).
- **ECM Fan Motors:** Động cơ ECM cho quạt được sản xuất bởi nhiều hãng (Regal, Broad Ocean, v.v.), thường tích hợp sẵn module điều khiển. White paper “ECM Motors in Fan Powered Terminal Units” của Krueger (tác giả Dan Int-Hout) trình bày lợi ích của motor ECM trong hộp VAV: hiệu suất cao hơn, giảm hiện tượng “fan curve shift” khi áp suất thay đổi, đơn giản hóa cân bằng gió, và tiết kiệm năng lượng đáng kể ở tải thấp ([Difference Between Parallel & Series Fan-Powered Terminals – Climate Systems Inc.](#)) ([Microsoft Word - 2 ECM Paper r3.doc](#)). Hãng Titus cũng có tài liệu hướng dẫn (Fan Powered Terminals – Titus HVAC) mô tả cách sử dụng bộ điều khiển PWM cho ECM: ví dụ **Titus G3 PWM board** cho phép nhận tín hiệu 0-10V từ DDC để điều chỉnh tốc độ quạt một cách tuyến tính ([\[PDF\] fan powered terminals - Titus HVAC](#)). Các catalog của Titus, Price đều liệt kê tùy chọn động cơ PSC hoặc **ECM (EC motor)** cho các model hộp

VAV fan-powered, cho thấy xu hướng ECM đang trở thành tiêu chuẩn mới vì hiệu quả cao.

- **Hãng sản xuất hộp VAV (Krueger, Titus, Price, Enviro-Tec,...):**
  - *Krueger*: Hãng này có các dòng sản phẩm **QFV (Parallel)** và **QFC (Series)** fan-powered terminal units, cũng như các phiên bản low-profile (KQFP, KQFS). Catalog Krueger cung cấp biểu đồ hiệu suất, kích thước và các tùy chọn điều khiển (như cảm biến, DDC controller tích hợp). Ví dụ model KQFP của Krueger là loại quạt song song, có tích hợp ECM, thiết kế để cung cấp khí ấm từ plenum khi cần sưởi, đảm bảo comfort cho người dùng cuối ([\[PDF\] KQFP MiniCatalog.pdf - Krueger-HVAC](#)).
  - *Titus*: Sản phẩm tiêu biểu gồm dòng **TFS (Series)** và **TQP (Parallel)**, với tài liệu submittal chỉ ra kết cấu (cắt nhìn bên trong), vị trí lắp đặt cuộn sưởi, tùy chọn cách nhiệt, v.v. Titus có podcast và video “VAV Box Basics” giải thích nguyên lý hoạt động của các loại hộp VAV fan-powered, và tài liệu kỹ thuật (Manual “Fan Powered Terminals”) bao gồm hình ảnh cutaway và sơ đồ trình tự vận hành cho loại parallel và series.
  - *Price Industries*: Có **Terminal Unit Product Guide** và catalog trực tuyến mô tả chi tiết các loại hộp (single duct, parallel, series). Price cung cấp các hình render 3D cắt bỏ (như Hình 1, 2 ở trên) minh họa rõ vị trí các thành phần. Tài liệu của Price nhấn mạnh sự khác biệt: hộp song song có vách ngăn với backdraft damper, hộp nối tiếp có quạt ở đường ra, và cũng đề cập **sequence DDC truyền thống** của mỗi loại (song song: quạt chỉ bật khi heat call; nối tiếp: quạt constant volume, ECM có thể modulate) ([Terminal Unit Product Guide](#)) ([Terminal Unit Product Guide](#)).
  - *Enviro-Tec / Johnson Controls*: Johnson Controls (quản lý thương hiệu Enviro-Tec) xuất bản **Application Guide – VAV Terminals** cung cấp cả mô tả vận hành và các **đặc tính IAQ, âm thanh** của hộp fan-powered. Họ chỉ ra ưu điểm của hộp nối tiếp trong việc cải thiện lưu thông không khí và tránh hiện tượng

“dumping” tại miệng gió khi sưởi ([VAV terminal unit types - Johnson Controls - Applied Packaged Rooftop Units - Premier Packaged Rooftop Units - Premier](#)). Johnson Controls cũng có catalog **TVS (Parallel)** và **TCS (Series)** với lưu lượng 100–4100 CFM, tùy chọn động cơ PSC hoặc ECM, và đã được chứng nhận AHRI 880 về hiệu suất âm thanh ([Parallel Fan Powered VAV \(TVS\) | Johnson Controls](#)).

- *Nailor Industries*: Nailor có loạt bài viết trên ASHRAE Journal (2017) bởi Gus Faris, so sánh hiệu năng hai loại FPTU. Đặc biệt, **phần về leakage** chỉ ra rằng không có hộp song song nào hoàn toàn kín, và rò rỉ qua damper/casino có thể gây tăng tải cho AHU khoảng 8.1 BTU/h mỗi CFM rò (tương đương ~3.9 W mỗi L/s) (). Nailor cung cấp các bản vẽ đấu dây mẫu cho thấy kết nối bộ điều khiển analog/pneumatic với quạt và van, hữu ích cho kỹ sư hiện trường.

Nhìn chung, tài liệu từ các hãng đều thống nhất nguyên lý hoạt động và cấu tạo cơ bản của hộp VAV fan-powered song song và nối tiếp. Sự khác biệt nằm ở chi tiết thiết kế và tùy chọn điều khiển. Các datasheet, hướng dẫn lắp đặt từ hãng (Belimo, Price, Titus, Krueger...) là nguồn thông tin quan trọng giúp hiểu rõ hơn về cách lắp đặt van Belimo cho coil, đấu dây động cơ ECM, cài đặt bộ điều khiển, cũng như các khuyến cáo vận hành nhằm đạt hiệu suất tối ưu và tuổi thọ cao cho thiết bị.

#### Tài liệu tham khảo tiêu biểu:

- Belimo – “*VAV System in HVAC – Actuators (Product Range)*”, Belimo AG. ([Belimo B317B+TFRB24-SR-S | 3 Way 3/4" CCV Valve | ZOT Supply](#)) ([Belimo B317B+TFRB24-SR-S | 3 Way 3/4" CCV Valve | ZOT Supply](#))
- Price Industries – “*Terminal Unit Product Guide*”, 2021 ([Terminal Unit Product Guide](#)) ([Terminal Unit Product Guide](#))
- Johnson Controls – “*Variable Air Volume Terminals (TVS, TCS) – Product Overview*”, 2023 ([VAV terminal unit types - Johnson Controls - Applied Packaged Rooftop Units - Premier Packaged Rooftop Units - Premier](#)) ([Parallel Fan Powered VAV \(TVS\) | Johnson Controls](#))

- Krueger HVAC – *White Paper: “ECM Motors in Fan Powered Terminal Units”*, Dan Int-Hout ([Microsoft Word - 2 ECM Paper r3.doc](#))
- ASHRAE Journal Nov 2017 – *“Fan-Powered VAV Terminal Units – Part Two”*, Faris et al. () ()
- Enviro-Tec (JCI) – *Installation & Operation Manual: Fan-Powered VAV, 2006* ([Microsoft Word - IOM-Fan-PoweredVAV0906.doc](#)) ([Microsoft Word - IOM-Fan-PoweredVAV0906.doc](#))
- Climate Systems Inc. – *Blog: “Difference Between Parallel & Series Fan-Powered Terminals”*, 2021 ([Difference Between Parallel & Series Fan-Powered Terminals – Climate Systems Inc.](#)).

## Câu hỏi thường gặp về Hộp VAV Fan-Powered (Quạt Hỗ Trợ)

### 1. Hộp VAV fan-powered là gì và có những loại cấu hình chính nào?

Hộp VAV fan-powered là một thiết bị điều chỉnh lưu lượng gió (VAV - Variable Air Volume) được tích hợp thêm quạt bên trong để tăng cường khả năng cấp gió cho các khu vực điều hòa. Có hai cấu hình chính:

- Loại song song (parallel) và
- Loại nối tiếp (series).

Cả hai đều điều chỉnh lưu lượng gió theo nhu cầu tải lạnh/nhiệt và sử dụng quạt để tuần hoàn không khí cũng như hỗ trợ sưởi. Tuy nhiên, điểm khác biệt cơ bản nằm ở cách thức hoạt động của quạt.

### 2. Sự khác biệt chính giữa hộp VAV fan-powered song song và nối tiếp là gì?

Sự khác biệt chính nằm ở chế độ hoạt động của quạt.

- Ở hộp song song, quạt thường chỉ chạy khi có nhu cầu sưởi (hoạt động gián đoạn). Lưu lượng gió lạnh được điều chỉnh chủ yếu bằng van gió chính. Khi cần sưởi, quạt sẽ hút không khí ấm từ trần giả hồi khí và thổi vào phòng, trộn với dòng khí lạnh.



- Ngược lại, ở hộp nối tiếp, quạt được đặt nối tiếp trên đường gió cấp và hoạt động liên tục trong suốt thời gian hệ thống vận hành. Lưu lượng gió cấp vào phòng gần như không đổi, và bộ điều khiển sẽ điều chỉnh van gió lạnh từ AHU cũng như lưu lượng gió hồi trộn vào để duy trì nhiệt độ mong muốn.

### **3. Động cơ ECM được sử dụng trong hộp VAV fan-powered có những ưu điểm gì?**

- Động cơ ECM (Electronically Commutated Motor) là loại động cơ điện một chiều không chổi than tích hợp mạch điện tử, mang lại nhiều ưu điểm vượt trội. Chúng cho phép điều chỉnh tốc độ quay tuyến tính và hiệu suất cao thông qua tín hiệu điều khiển (thường là 0-10V DC hoặc PWM).
- Động cơ ECM tiết kiệm năng lượng đáng kể so với động cơ AC truyền thống, đặc biệt ở dải tốc độ thấp. Chúng cũng hoạt động êm ái hơn, ít tỏa nhiệt hơn và có tuổi thọ cao hơn do ít hao mòn cơ học (không có chổi than).
- Khả năng điều chỉnh tốc độ linh hoạt của ECM giúp tối ưu hóa lưu lượng gió theo nhu cầu thực tế, đồng thời có thể được sử dụng để khởi động mềm, tránh gây ồn đột ngột.

### **4. Van Belimo và cuộn sưởi được điều khiển như thế nào trong hộp VAV fan-powered?**

- Van Belimo (thường là van 2 ngã hoặc 3 ngã) được sử dụng để điều khiển dòng nước nóng chảy qua cuộn sưởi (nếu là loại sưởi bằng nước nóng). Chúng thường là loại van điều khiển tuyến tính, nhận tín hiệu analog (ví dụ 0(2)-10V DC) từ bộ điều khiển VAV để mở tỷ lệ, điều chỉnh lưu lượng nước nóng cấp vào cuộn sưởi và do đó điều chỉnh công suất sưởi.
- Đối với điện trở sưởi, bộ điều khiển sẽ điều khiển thông qua các tầng công suất (bật/tắt các điện trở khác nhau) hoặc sử dụng bộ điều áp SCR để điều chỉnh nhiệt đầu ra. Một nguyên tắc quan trọng là cuộn sưởi chỉ hoạt động khi van gió chính đã đóng về mức lưu lượng tối thiểu, nhằm tránh tình trạng vừa làm lạnh vừa sưởi đồng thời, tiết kiệm năng lượng.

- Cảm biến nhiệt độ gió cấp thường được sử dụng để giới hạn nhiệt độ tối đa của gió cấp, đảm bảo an toàn và sự thoải mái cho người sử dụng.

## 5. Các thành phần chính trong cấu tạo của hộp VAV fan-powered là gì?

Một hộp VAV fan-powered bao gồm:

- Vỏ hộp (Box) có lớp cách nhiệt/cách âm,
- Đầu vào (Inlet) với cảm biến lưu lượng,
- Van điều tiết lưu lượng (damper) và
- Động cơ điều khiển,
- Quạt ly tâm và động cơ (thường là ECM),
- Đường lấy khí hồi (cho loại hút khí trần),
- Bộ phận chống hồi lưu (cho loại song song),
- Cuộn sưởi (nước nóng hoặc điện trở), và
- Hộp điều khiển chứa các kết nối điện và có thể có bộ điều khiển DDC.

Sự khác biệt chính giữa loại song song và nối tiếp nằm ở vị trí của quạt trong dòng khí và sự cần thiết của bộ phận chống hồi lưu.

## 6. Hộp VAV fan-powered được kết nối và điều khiển như thế nào trong hệ thống HVAC?

- Hộp VAV fan-powered nhận nguồn điện (cho quạt và cuộn sưởi) và tín hiệu điều khiển từ bộ điều khiển VAV tích hợp.
- Bộ điều khiển này nhận thông tin từ các cảm biến (nhiệt độ phòng, lưu lượng gió) và gửi tín hiệu đến các cơ cấu chấp hành (động cơ damper, động cơ quạt ECM, van Belimo cho cuộn sưởi).
- Trong hệ thống có BMS (Building Management System), bộ điều khiển VAV thường kết nối qua các giao thức như BACnet hoặc Modbus để trao đổi dữ liệu (setpoint nhiệt độ, trạng thái hoạt động, các giá trị đo lường).
- Trong trường hợp không có BMS, hộp VAV có thể được điều khiển bằng thermostat độc lập. Sơ đồ kết nối bao gồm cả mạch động lực (nguồn điện) và mạch điều khiển (tín hiệu điện áp thấp).

## 7. Ưu và nhược điểm của cấu hình hộp VAV fan-powered song song và nối tiếp là gì?

- Hộp song song tiết kiệm điện quạt trong chế độ làm lạnh do quạt ngừng hoạt động, phù hợp cho khu vực cần sưởi không thường xuyên. Tuy nhiên, luồng gió có thể không ổn định ở tải thấp và có nguy cơ rò rỉ khí lạnh.
- Hộp nối tiếp đảm bảo luồng không khí liên tục, cải thiện chất lượng không khí và tránh phân tầng nhiệt, nhưng tiêu thụ điện quạt liên tục (mặc dù có thể tối ưu hóa bằng động cơ ECM).

Việc lựa chọn giữa hai loại phụ thuộc vào yêu cầu cụ thể của từng khu vực và ưu tiên về tiết kiệm năng lượng, chất lượng không khí và độ ồn.

## 8. Các nhà sản xuất nào cung cấp hộp VAV fan-powered và những tài liệu tham khảo quan trọng nào có thể tìm hiểu thêm?

Nhiều nhà sản xuất HVAC hàng đầu cung cấp hộp VAV fan-powered, bao gồm Belimo (chuyên về van và động cơ), Krueger, Titus, Price Industries, Enviro-Tec (thuộc Johnson Controls), và Nailor Industries. Các tài liệu tham khảo quan trọng bao gồm tài liệu kỹ thuật và catalog sản phẩm từ các nhà sản xuất này, các white paper về động cơ ECM (ví dụ của Krueger), các bài viết trên ASHRAE Journal, và các hướng dẫn lắp đặt và vận hành (ví dụ của Enviro-Tec). Những tài liệu này cung cấp thông tin chi tiết về cấu tạo, nguyên lý hoạt động, lựa chọn, lắp đặt và bảo trì các loại hộp VAV fan-powered.

## Trắc nghiệm ngắn (2-3 câu trả lời cho mỗi câu hỏi)

1. Nêu sự khác biệt cơ bản về nguyên lý hoạt động của quạt giữa hộp VAV fan-powered song song và nối tiếp.
2. Động cơ ECM mang lại những ưu điểm gì so với động cơ AC truyền thống trong ứng dụng hộp VAV fan-powered?
3. Van Belimo thường được sử dụng để điều khiển thành phần nào trong hộp VAV fan-powered và tín hiệu điều khiển điển hình là gì?

4. Mục đích của cửa chống hồi lưu (backdraft damper) trong hộp VAV fan-powered song song là gì và tại sao nó quan trọng?
5. Hãy mô tả vai trò của bộ điều khiển DDC (Direct Digital Control) trong việc vận hành hộp VAV fan-powered.
6. Nêu ít nhất hai yếu tố cần xem xét khi lựa chọn giữa hộp VAV fan-powered song song và nối tiếp cho một khu vực cụ thể trong tòa nhà.
7. Cảm biến lưu lượng thường được đặt ở vị trí nào trên hộp VAV fan-powered và chức năng của nó là gì?
8. Khi nào thì cuộn sưởi trong hộp VAV fan-powered được kích hoạt và tại sao cần có cơ chế ngăn vừa làm lạnh vừa sưởi đồng thời?
9. Hãy giải thích ngắn gọn cách hộp VAV fan-powered kết nối và trao đổi thông tin với hệ thống quản lý tòa nhà (BMS).
10. Nêu một ưu điểm chính về hiệu quả năng lượng của mỗi loại hộp VAV fan-powered (song song và nối tiếp) khi sử dụng động cơ ECM.

## Đáp án trắc nghiệm

1. Trong hộp song song, quạt chỉ chạy khi có nhu cầu sưởi, hút khí ấm từ plenum trần để bổ sung vào phòng. Ngược lại, trong hộp nối tiếp, quạt được đặt nối tiếp trên dòng khí cấp và hoạt động liên tục trong suốt thời gian hệ thống vận hành.
2. Động cơ ECM cho phép điều chỉnh tốc độ tuyến tính và có hiệu suất cao hơn so với động cơ AC, giúp tiết kiệm năng lượng. Chúng cũng tỏa nhiệt ít hơn, có độ bền cao hơn do không có chổi than, và khởi động mềm giúp giảm tiếng ồn.
3. Van Belimo thường được sử dụng để điều khiển lưu lượng nước nóng qua cuộn sưởi của hộp VAV fan-powered. Tín hiệu điều khiển điển hình là analog 0(2)-10 V DC, cho phép van mở theo tỷ lệ tương ứng với nhu cầu sưởi.
4. Cửa chống hồi lưu trong hộp song song có nhiệm vụ ngăn dòng khí lạnh từ ống gió cấp chính trào ngược vào plenum trần khi quạt sưởi

ngừng hoạt động. Điều này quan trọng để duy trì hiệu suất làm lạnh và tránh thất thoát năng lượng.

5. Bộ điều khiển DDC là trung tâm điều khiển của hộp VAV fan-powered, nhận tín hiệu từ các cảm biến (nhiệt độ phòng, lưu lượng gió), và gửi tín hiệu điều khiển đến các cơ cấu chấp hành (van gió, quạt ECM, cuộn sưởi) để duy trì nhiệt độ và lưu lượng theo yêu cầu.
6. Khi lựa chọn, cần xem xét nhu cầu thông gió và tuần hoàn không khí (liên tục hay gián đoạn), và yêu cầu về hiệu quả năng lượng trong các chế độ làm lạnh và sưởi. Ví dụ, vùng nội thất có thể ưu tiên loại nối tiếp để đảm bảo thông gió liên tục.
7. Cảm biến lưu lượng thường được đặt ở cổ ống gió vào (inlet) của hộp VAV fan-powered. Chức năng của nó là đo lưu lượng gió cấp vào hộp bằng cách đo áp suất động hoặc chênh áp, cung cấp thông tin cho bộ điều khiển để điều chỉnh van gió và duy trì lưu lượng mong muốn.
8. Cuộn sưởi chỉ được kích hoạt khi van gió chính đã đóng về mức lưu lượng tối thiểu, nhằm tuân thủ quy định tiết kiệm năng lượng và tránh tình trạng vừa làm lạnh không khí từ AHU vừa sưởi ấm nó tại hộp VAV.
9. Hộp VAV fan-powered thường kết nối với BMS qua các giao thức như BACnet hoặc Modbus để trao đổi thông tin. BMS gửi các thông số cài đặt (nhiệt độ, chế độ hoạt động) và nhận về các giá trị đo lường (lưu lượng, nhiệt độ, trạng thái van, tốc độ quạt).
10. Hộp song song với ECM có ưu điểm tiết kiệm điện năng khi làm lạnh do quạt ngừng hoạt động. Hộp nối tiếp với ECM có ưu điểm tận dụng khả năng điều chỉnh tốc độ linh hoạt để giảm điện năng tiêu thụ ở tải thấp đồng thời đảm bảo thông gió liên tục.

## Câu hỏi luận (không cung cấp đáp án)

1. Phân tích chi tiết các yếu tố kỹ thuật và kinh tế cần cân nhắc khi quyết định sử dụng hộp VAV fan-powered song song hay nối tiếp trong một dự án HVAC cụ thể.

2. Đánh giá vai trò của động cơ ECM và công nghệ điều khiển tiên tiến (ví dụ, giao thức BACnet) trong việc nâng cao hiệu quả năng lượng và khả năng kiểm soát của hệ thống VAV fan-powered hiện đại.
3. So sánh và đối chiếu các ưu nhược điểm của việc sử dụng cuộn sưởi nước nóng và điện trở sưởi trong hộp VAV fan-powered, xét trên các khía cạnh chi phí đầu tư, chi phí vận hành, hiệu suất và độ an toàn.
4. Thảo luận về tầm quan trọng của việc lựa chọn và lắp đặt đúng cảm biến lưu lượng và van điều tiết lưu lượng (damper) trong hộp VAV fan-powered để đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định và đáp ứng yêu cầu thiết kế.
5. Nghiên cứu và trình bày các giải pháp từ các nhà sản xuất khác nhau (ví dụ, Belimo, Krueger, Titus, Price) về việc tích hợp và điều khiển hộp VAV fan-powered trong hệ thống BMS, nhấn mạnh các tính năng và lợi ích của từng giải pháp.

## Bảng chú giải thuật ngữ

| Thuật ngữ (Tiếng Anh)        | Thuật ngữ (Tiếng Việt)  | Định nghĩa   |
|------------------------------|-------------------------|--|
| VAV (Variable Air Volume)    | Điều khiển gió thay đổi | Hệ thống HVAC điều chỉnh lưu lượng gió cấp vào không gian để đáp ứng nhu cầu tải nhiệt.  |
| Fan-powered VAV Box          | Hộp VAV có quạt hỗ trợ  | Hộp điều khiển gió VAV được tích hợp thêm quạt bên trong để tăng cường lưu thông gió và hỗ trợ sưởi.                               |
| Parallel Fan-Powered VAV Box | Hộp VAV quạt song song  | Loại hộp VAV có quạt hút khí hồi từ trần và cấp bổ sung vào phòng khi cần sưởi, quạt không chạy trong chế độ làm lạnh bình thường. |



|                                       |                                     |  |
|---------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Series Fan-Powered VAV Box            | Hộp VAV quạt nối tiếp               | Loại hộp VAV có quạt đặt trên đường gió cấp, hoạt động liên tục để duy trì lưu lượng gió cấp ổn định bất kể tải lạnh hay sưởi.               |
| AHU (Air Handling Unit)               | Bộ xử lý không khí                  | Thiết bị trung tâm trong hệ thống HVAC có chức năng lọc, gia nhiệt, làm lạnh và điều chỉnh độ ẩm của không khí trước khi cấp vào không gian. |
| Damper                                | Van điều tiết gió                   | Cánh van có thể xoay để điều chỉnh lưu lượng gió trong ống gió.  |
| Plenum (Ceiling Plenum)               | Khoang trần giả hồi khí             | Không gian phía trên trần giả được sử dụng làm đường hồi khí cho hệ thống HVAC.  |
| ECM (Electronically Commutated Motor) | Động cơ điện tử có chuyển mạch      | Loại động cơ điện một chiều không chổi than có mạch điện tử tích hợp, cho phép điều chỉnh tốc độ tuyến tính và có hiệu suất cao.             |
| Belimo                                | Belimo                              | Tên một hãng sản xuất nổi tiếng các loại van điều khiển và động cơ cho hệ thống HVAC.  |
| DDC Controller                        | Bộ điều khiển kỹ thuật số trực tiếp | Hệ thống điều khiển tự động sử dụng bộ vi xử lý để giám sát và điều khiển các thiết bị trong hệ thống HVAC dựa trên các tín hiệu số.         |
| Backdraft Damper                      | Van một chiều chống hồi lưu         | Van chỉ cho phép dòng khí đi theo một hướng, ngăn chặn dòng khí chảy ngược.  |
| Heating Coil                          | Cuộn sưởi                           | Bộ trao đổi nhiệt (dùng nước nóng hoặc điện trở) được sử dụng để gia nhiệt không khí cấp vào không gian.                                     |

|                                  |                                |   |
|----------------------------------|--------------------------------|---|
| Discharge Air Sensor             | Cảm biến nhiệt độ gió cấp      | Cảm biến đo nhiệt độ của dòng không khí sau khi đã qua hộp VAV và cuộn sưởi (nếu có).   |
| BMS (Building Management System) | Hệ thống quản lý tòa nhà       | Hệ thống máy tính trung tâm dùng để giám sát và điều khiển các hệ thống kỹ thuật trong tòa nhà, bao gồm HVAC, chiếu sáng, an ninh,... |
| Thermostat                       | Bộ điều nhiệt                  | Thiết bị cảm biến nhiệt độ và điều khiển hệ thống sưởi ấm hoặc làm mát để duy trì nhiệt độ mong muốn trong không gian.                |
| CFM (Cubic Feet per Minute)      | Feet khối trên phút            | Đơn vị đo lưu lượng gió theo thể tích trên thời gian.   |
| IAQ (Indoor Air Quality)         | Chất lượng không khí trong nhà | Mức độ sạch và an toàn của không khí bên trong các tòa nhà, ảnh hưởng đến sức khỏe và sự thoải mái của người sử dụng.                 |
| Actuator                         | Cơ cấu chấp hành               | Thiết bị chuyển đổi năng lượng điều khiển thành chuyển động cơ học, ví dụ động cơ van gió, van nước.                                  |
| Modulating Control               | Điều khiển tuyến tính          | Phương pháp điều khiển mà tín hiệu đầu ra thay đổi liên tục theo tín hiệu đầu vào, cho phép điều chỉnh chính xác và mượt mà.          |
| Sequence of Operation            | Trình tự vận hành              | Mô tả chi tiết cách các thiết bị trong hệ thống HVAC hoạt động và phối hợp với nhau trong các điều kiện khác nhau.                    |