

# SÁCH TRẮNG

## VỀ VAV BOX CÓ BỘ SỬỞI TRỰC TIẾP

(Không sử dụng quạt)

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:**

*Sách trắng về VAV Box có sưởi trực tiếp, không quạt: Tài liệu nghiên cứu được biên soạn bởi phòng R&D, Công ty Ngôi Sao Châu Á, nhằm cung cấp thông tin và kiến thức về các loại VAV Box, đặc biệt là loại single duct không quạt tích hợp bộ sưởi (nước nóng hoặc điện trở). Mục đích của tài liệu là cung cấp thông tin đào tạo nội bộ, không nhằm mục đích thương mại khác.*

- 1. Mô tả cấu tạo chính của hộp VAV single duct không quạt có sưởi:*
- 2. Giải thích nguyên lý hoạt động của hộp VAV single duct có sưởi:*
- 3. Phân tích cơ chế điều khiển, tín hiệu và kết nối BMS/thermostat:*
- 4. So sánh ưu điểm và nhược điểm của VAV single duct không quạt có sưởi:*
- 5. Trình bày ứng dụng thực tế trong công trình:*
- 6. Giới thiệu tài liệu kỹ thuật từ các hãng (Titus, Price, Belimo) và tham khảo:*
- 7. Các câu hỏi thường gặp*
- 8. Câu hỏi trắc nghiệm và câu trả lời*
- 9. Câu hỏi thảo luận*
- 10. Các thuật ngữ tên gọi tiếng Anh và tiếng Việt.*

# VAV Box Single Duct Tích Hợp Bộ Sưởi (Không sử dụng quạt):

Nội dung chính:

## 1. Cấu tạo chính của hộp VAV single duct không quạt có sưởi

Hộp VAV (Variable Air Volume) loại single duct không quạt là một hộp điều tiết lưu lượng gió bằng van gió điều khiển bên trong, phục vụ cho một vùng điều hòa cụ thể. Cấu tạo cơ bản bao gồm vỏ hộp bằng kim loại tấm (thường có lớp cách nhiệt bên trong), van điều tiết lưu lượng (damper) gắn ở đầu vào, cảm biến lưu lượng gió và bộ sưởi tích hợp (cuộn nước nóng hoặc điện trở) lắp tại đầu ra, cùng với cơ cấu điều khiển (các bộ truyền động/van và bộ điều khiển) ([Terminal Units \(VAV Box\) - Single & Dual Duct Unit | Coil Replacement Company](#)). Các thành phần chính như sau:

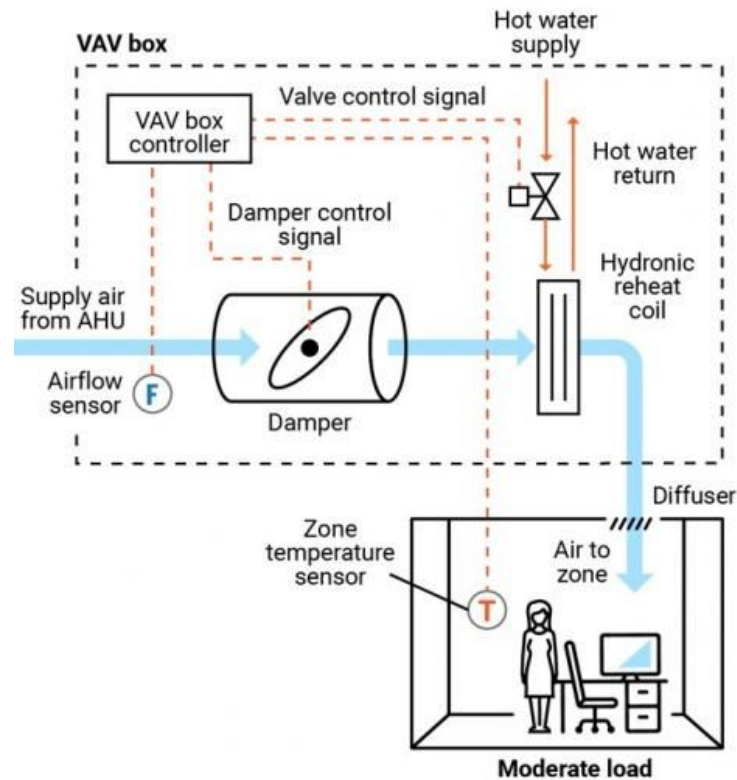
- **Thân hộp (vỏ hộp):** Thân hộp làm bằng thép tấm, thường dạng hình hộp chữ nhật, bên trong có lớp cách âm/cách nhiệt nhằm giảm ồn và hạn chế mất nhiệt ([Terminal Units \(VAV Box\) - Single & Dual Duct Unit | Coil Replacement Company](#)). Không khí lạnh từ AHU (Air Handling Unit – thiết bị xử lý không khí trung tâm) đi vào cửa gió đầu vào hình tròn hoặc chữ nhật của hộp VAV, sau đó qua van gió và phân phối vào không gian qua hệ thống ống gió nối với cửa ra của hộp ().
- **Van điều tiết lưu lượng (Air Valve/Damper):** Bên trong hộp có một cánh van (thường dạng tròn với hộp cửa tròn, hoặc cánh gió với hộp cửa vuông) điều chỉnh độ mở để thay đổi lưu lượng không khí cấp vào phòng ([Variable Air Volume \(VAV\) Systems Operations and Maintenance | PNNL](#)). Van này được gắn với trục van và bộ truyền động (actuator) để đóng mở theo tín hiệu điều khiển. Khi cánh van xoay (mở lớn hay thu nhỏ tiết diện), lưu lượng gió qua hộp thay đổi tương ứng (). Van gió thường có kích thước tiêu chuẩn (đường kính

4, 5, 6, 8, 10... inch đối với loại tròn) và được chế tạo chính xác để điều tiết dòng khí mượt mà ().

- **Cảm biến lưu lượng gió:** Tại đầu vào hộp (trước hoặc ngay tại vị trí van gió) thường bố trí một cảm biến lưu lượng không khí. Loại cảm biến phổ biến là ống đo áp suất vi sai hoặc vòng cảm biến lưu lượng đa điểm (Pitot tube hoặc flow cross) để đo chênh áp suất dòng khí ([Variable Air Volume \(VAV\) Systems Operations and Maintenance | PNNL](#)). Tín hiệu chênh áp này được bộ điều khiển suy ra lưu lượng (CFM) thực tế qua hộp. Cảm biến này cho phép hộp VAV vận hành độc lập với áp suất tuyến ống (pressure-independent), duy trì chính xác lưu lượng cài đặt bất kể áp suất phía đầu vào biến động ([Variable Air Volume \(VAV\) Systems Operations and Maintenance | PNNL](#)). (Lưu ý: không sử dụng ống cảm biến hay trực van làm điểm nâng khi vận chuyển để tránh làm hỏng thiết bị ()).
- **Cuộn sưởi (bộ gia nhiệt):** Đây là bộ trao đổi nhiệt tích hợp trong hộp VAV để làm nóng không khí khi cần sưởi. Có hai loại chính:
  - *Cuộn nước nóng:* Dạng dàn ống trao đổi nhiệt (thường 1-2 hàng ống đồng với cánh tản nhiệt nhôm) nối với đường nước nóng từ nồi hơi hoặc bơm nhiệt. Nước nóng chạy qua cuộn sẽ làm nóng không khí thổi qua ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#)). Cuộn này thường lắp ngay trong hộp hoặc đoạn ống ra, với đầu ống cấp/thu nước gắn bên hông hộp để kết nối với đường ống nước nóng.
  - *Điện trở sưởi:* Dạng điện trở nhiệt (heating elements) lắp bên trong đoạn ống gió ra của hộp. Các dây điện trở nung nóng không khí khi có dòng điện chạy qua. Thường kèm theo lưới bảo vệ và cảm biến quá nhiệt (thermal cutoff) để đảm bảo an toàn. Ví dụ, các hộp VAV của Titus có tùy chọn cuộn điện trở tích hợp; thiết kế điện trở được tối ưu để tránh phân tầng nhiệt và điểm nóng cục bộ gây nhả rơ-le nhiệt ([ [STARDUCT WHITE PAPER OF VAV BOX HEATER. | By R&D Dep.](https://www.titus-hvac.com/Products/Accessories/Electric</a></u></li></ul></li></ul></div><div data-bbox=)

- Cả hộp VAV với cuộn nước nóng hay điện trở đều được kiểm định an toàn (UL/ETL) khi xuất xưởng.
- **Cơ cấu điều khiển và các thiết bị khác:** Bao gồm bộ điều khiển VAV (có thể là bo mạch DDC hoặc bộ điều khiển khí nén/điện tử tùy hệ thống), bộ truyền động van gió (actuator) thường gắn trực tiếp trên trục van, van điều khiển nước nóng (với cuộn nước nóng, thường dùng van motor điều khiển tỷ lệ như van Belimo), hoặc bộ đóng cắt điện trở (với cuộn điện). Bộ điều khiển thường được tích hợp hoặc lắp sẵn trên vỏ hộp, nhận tín hiệu từ cảm biến lưu lượng và cảm biến nhiệt độ phòng để điều tiết van gió và bộ sưởi tương ứng (Variable Air Volume (VAV) Systems Operations and Maintenance | PNNL). Hộp có quạt (fan-powered) sẽ có thêm quạt và motor cùng bộ lọc (nếu hút gió hồi từ trần), nhưng với loại không quạt thì không có các thành phần này (Variable Air Volume (VAV) Systems Operations and Maintenance | PNNL) – điều này giúp cấu tạo hộp đơn giản và gọn nhẹ hơn.

(Variable Air Volume (VAV) Systems Operations and Maintenance | PNNL) Hình 1: Sơ đồ cấu tạo và điều khiển của một hộp VAV single duct không quạt có cuộn sưởi nước nóng. Không khí cấp từ AHU đi vào hộp qua cảm biến lưu lượng (F) và van gió điều khiển. Bộ điều khiển hộp VAV nhận tín hiệu từ cảm biến nhiệt độ phòng (T) và cảm biến lưu lượng để điều chỉnh động cơ van gió (điều tiết lưu lượng) và van nước nóng cấp cho cuộn sưởi. Không khí sau khi qua cuộn sưởi được đưa vào phòng qua miệng gió (diffuser).



## 2. Nguyên lý hoạt động của hộp VAV single duct có sưởi

Hộp VAV single duct không quạt vận hành dựa trên việc điều chỉnh lưu lượng gió cấp theo tải nhiệt của không gian, kết hợp bật/tắt hoặc điều chỉnh sưởi khi cần thiết. Nhìn chung, một hộp VAV kiểu này có ba chế độ hoạt động chính tương ứng với trạng thái tải: làm mát, duy trì (deadband) và sưởi (Variable Air Volume (VAV) Systems Operations and Maintenance | PNNL):

- **Chế độ làm mát (Cooling mode):** Khi nhiệt độ phòng cao hơn nhiệt độ cài đặt (tải lạnh tăng), hộp VAV tăng cường cấp gió lạnh để hạ nhiệt độ phòng xuống. Bộ điều khiển sẽ mở van gió lớn dần (từ mức tối thiểu lên tối đa đã định) nhằm tăng lưu lượng không khí lạnh từ AHU vào phòng (VAV System Design: What is your style? | nailor.com). Trong suốt quá trình này, cuộn sưởi sẽ tắt (không cấp nước nóng hoặc không cấp điện vào điện trở) để không cản trở việc làm lạnh. Hộp VAV loại single duct phụ thuộc vào lưu lượng gió từ AHU – không có quạt riêng nên lưu lượng gió cấp hoàn toàn do quạt

AHU đẩy qua van gió ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)). Bộ cảm biến lưu lượng sẽ phản hồi để đảm bảo lưu lượng cấp đúng yêu cầu và không vượt quá giới hạn thiết kế (CFM max).

- **Chế độ duy trì/đáp ứng thông gió (Dead-band):** Khi nhiệt độ phòng đạt gần bằng nhiệt độ cài đặt (tải lạnh giảm thấp, phòng không yêu cầu làm mát thêm nhưng cũng chưa cần sưởi), hộp VAV sẽ thu hẹp van gió đến vị trí lưu lượng tối thiểu đã định (Minimum flow) ([Variable Air Volume \(VAV\) Systems Operations and Maintenance | PNNL](#)). Mục đích là duy trì một lượng gió tối thiểu để đảm bảo thông gió và cân bằng áp trong phòng theo tiêu chuẩn (tránh đóng hẳn gió). Ở chế độ này, không khí lạnh vừa đủ để giữ phòng không tăng nhiệt trở lại, đồng thời tránh làm phòng quá lạnh. Cuộn sưởi vẫn tắt trong giai đoạn dead-band. Hộp VAV lúc này chủ yếu hoạt động để giữ lưu lượng gió nền (thường khoảng 20-30% lưu lượng tối đa hoặc theo yêu cầu gió tươi tối thiểu).
- **Chế độ sưởi (Heating mode):** Khi nhiệt độ phòng xuống thấp hơn nhiệt độ cài đặt (ví dụ ban đêm hoặc mùa đông, hoặc khu vực bị quá lạnh do ảnh hưởng của gió lạnh), hộp VAV chuyển sang chế độ sưởi. Lúc này lưu lượng gió thường được giữ ở mức tối thiểu (hoặc một mức định trước cho chế độ sưởi, thường bằng lưu lượng tối thiểu để đảm bảo có đủ không khí lan tỏa nhiệt) nhằm tránh thổi quá nhiều không khí lạnh vào phòng ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)). Đồng thời, cuộn sưởi được kích hoạt: van nước nóng bắt đầu mở cho nước nóng chảy qua cuộn, hoặc bộ điện trở được cấp điện. Không khí mát từ AHU đi qua cuộn sưởi sẽ được đun nóng lên trước khi vào phòng, nhờ đó tăng nhiệt độ phòng dần lên đến nhiệt độ cài đặt. Bộ điều khiển có thể điều chỉnh tỷ lệ (modulate) van nước nóng hoặc mức điện trở để cung cấp lượng nhiệt vừa đủ, tránh quá nhiệt. Khi nhiệt độ phòng đạt lại điểm cài đặt, cuộn sưởi sẽ tắt và hệ thống quay lại chế độ duy trì hoặc làm mát tùy tình huống.

Các chế độ trên diễn ra tự động và liên tục để giữ cho nhiệt độ phòng ổn định quanh giá trị cài đặt. Tóm lại, ưu tiên đầu tiên của hộp VAV là dùng lưu lượng gió lạnh để làm mát (vì không khí từ AHU đã được làm lạnh và khử ẩm ở ~13°C ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#))). Chỉ khi nào khu vực quá lạnh so với cài đặt, hộp mới giảm lưu lượng và bật sưởi để tránh làm không gian bị lạnh thêm ([Variable Air Volume \(VAV\) Systems Operations and Maintenance | PNNL](#)). Nhờ đó, hộp VAV single duct có sưởi đáp ứng tốt cả hai nhu cầu làm mát mùa hè và sưởi ấm mùa đông cho từng khu vực.

### 3. Cơ chế điều khiển, tín hiệu và kết nối BMS/thermostat

Hộp VAV single duct có sưởi sử dụng một hệ thống điều khiển tích hợp để quản lý đồng thời van gió và bộ sưởi nhằm duy trì nhiệt độ vùng theo yêu cầu. Cơ chế điều khiển bao gồm các thành phần và tín hiệu chính như sau:

- **Cảm biến nhiệt độ phòng (thermostat):** Mỗi vùng điều khiển có một cảm biến nhiệt độ phòng gắn trên tường hoặc hồi trần, thường gọi là thermostat. Cảm biến này đo nhiệt độ không khí trong không gian và gửi tín hiệu về bộ điều khiển hộp VAV ([Variable Air Volume \(VAV\) Systems Operations and Maintenance | PNNL](#)). Nhiệt độ phòng đo được sẽ được so sánh với nhiệt độ đặt (setpoint) để xác định chế độ (làm mát, giữ, hay sưởi).
- **Cảm biến lưu lượng và áp suất:** Như đã mô tả, cảm biến lưu lượng (thông qua đo chênh áp tại đầu vào) cung cấp thông tin về lưu lượng gió tức thời qua hộp ([Variable Air Volume \(VAV\) Systems Operations and Maintenance | PNNL](#)). Đây là đầu vào quan trọng để bộ điều khiển điều chỉnh chính xác vị trí van gió, đảm bảo pressure-independent (áp suất biến thiên nhưng lưu lượng vẫn đúng yêu cầu).
- **Bộ điều khiển (Controller):** Bộ điều khiển có thể là loại analog hoặc DDC (Digital Direct Control) tùy theo hệ thống. Hiện nay phổ biến là các bộ điều khiển DDC vi xử lý gắn tại hộp, có thể do các hãng



như Johnson Controls, Honeywell, Alerton, v.v... cung cấp, hoặc thậm chí tích hợp sẵn trong actuator (như dòng VAV-Compact của Belimo kết hợp cảm biến, controller và động cơ trong một thiết bị ([VAV Actuators](#) | [VAV system in HVAC](#) | [Belimo](#))). Bộ điều khiển nhận tín hiệu từ cảm biến nhiệt độ phòng và cảm biến lưu lượng, sau đó thực hiện thuật toán PID/logic điều khiển để xuất lệnh tới các cơ cấu chấp hành. Cụ thể:

- **Điều khiển van gió (*damper actuator*):** thông thường là tín hiệu điều khiển tuyến tính 0-10 VDC hoặc 4-20 mA (hoặc tín hiệu kỹ thuật số nếu dùng mạng giao tiếp) gửi đến động cơ van gió. Động cơ này xoay trục van để mở/đóng cánh van đến góc cần thiết, qua đó điều chỉnh lưu lượng không khí. Bộ điều khiển sẽ tăng hoặc giảm tín hiệu này dựa trên độ lệch nhiệt độ phòng và lưu lượng đo được, đảm bảo vừa đáp ứng tải lạnh/nhiệt vừa không ra ngoài giới hạn lưu lượng min/max cài đặt.
- **Điều khiển bộ sưởi (*Heating coil*):**
  - **Đối với cuộn nước nóng:** bộ điều khiển sẽ xuất tín hiệu tới van điều khiển nước nóng (thường là van 2 ngã hoặc 3 ngã với motor điện). Tín hiệu có thể là 0-10 VDC modulating để mở van tỷ lệ tương ứng nhu cầu nhiệt, hoặc có thể là tín hiệu on/off hai vị trí (mở hoặc đóng hoàn toàn) tùy thiết kế. Van nước nóng (ví dụ van cầu với actuator Belimo) sẽ điều tiết lưu lượng nước nóng qua cuộn, từ đó thay đổi công suất sưởi.
  - **Đối với điện trở sưởi:** bộ điều khiển có thể điều khiển thông qua rơ-le hoặc SSR (Solid State Relay) để đóng cắt cấp điện cho cuộn điện trở. Với loại nhiều bậc, controller có thể điều khiển đa cấp (bật từng phần điện trở để đạt công suất cần thiết) hoặc điều khiển on/off với độ rộng xung (time-proportioning) nhằm tạo hiệu

ứng tương tự điều khiển tuyến tính. Ngoài ra, mạch điện trở luôn có các thiết bị an toàn độc lập (như công tắc dòng khí, thermostat an toàn) để ngắt điện nếu lưu lượng gió quá thấp hoặc nhiệt độ quá cao.

- **Thuật toán điều khiển:** Hộp VAV thường áp dụng chiến lược điều khiển ưu tiên lạnh trước, nhiệt sau. Nghĩa là bộ điều khiển sẽ cố gắng duy trì nhiệt độ bằng cách điều chỉnh van gió trước tiên trong dải min-max. Khi nhiệt độ vượt quá phạm vi trung tính (deadband) về phía lạnh, nó giảm lưu lượng xuống min và bắt đầu cấp nhiệt. Ngược lại, khi phòng nóng lên, nó tăng lưu lượng gió lên tới max trước khi xem xét tắt lạnh (thực tế tắt lạnh do AHU quyết định). Bộ điều khiển sẽ duy trì một lưu lượng tối thiểu khi sưởi để tránh ngộ ngạt và đảm bảo có trao đổi không khí. Đồng thời, nhiều thiết kế yêu cầu flow proving: chỉ cho phép bật điện trở sưởi khi có xác nhận đủ lưu lượng gió (tránh quá nhiệt cuộn điện).
- **Kết nối BMS hoặc thermostat độc lập:** Các hộp VAV hiện đại thường được kết nối vào hệ thống BMS (Building Management System) qua mạng truyền thông (BACnet, Modbus, LonWorks...) để giám sát và điều khiển tập trung. Bộ điều khiển VAV khi đó là một node trong hệ thống tòa nhà, có thể nhận setpoint từ BMS, gửi dữ liệu (nhiệt độ, lưu lượng, trạng thái van...) về máy chủ trung tâm. Điều này cho phép người quản lý tòa nhà theo dõi và điều chỉnh linh hoạt lịch hoạt động, chế độ tiết kiệm, hoặc phát hiện sự cố. Trong trường hợp đơn giản hoặc tòa nhà nhỏ, hộp VAV cũng có thể vận hành độc lập với một thermostat cục bộ: thermostat trên tường sẽ trực tiếp nối dây đến bộ điều khiển/actuator của hộp. Ví dụ, một số hệ thống dùng thermostat điện tử cấp tín hiệu 0-10V trực tiếp đến van gió và điều khiển on/off cuộn sưởi. Dù kết nối kiểu nào, mục tiêu vẫn là đảm bảo nhiệt độ từng khu vực đạt yêu cầu thông qua phối hợp nhịp nhàng giữa điều tiết lưu lượng và cung cấp nhiệt.

- **Hãng thiết bị điều khiển:** Trên thị trường có nhiều hãng cung cấp giải pháp điều khiển cho VAV. Chẳng hạn, Belimo – một hãng nổi tiếng về actuator – cung cấp loại VAV-Compact tích hợp sẵn cảm biến chênh áp, bộ điều khiển và động cơ van trong một thiết bị gắn trên hộp VAV ([VAV Actuators | VAV system in HVAC | Belimo](#)). Thiết bị này có thể nhận tín hiệu analog hoặc tham gia mạng BACnet/Modbus trực tiếp, giúp giảm công lắp đặt và hiệu chỉnh. Belimo (và các hãng khác như Johnson Controls, Siemens...) cũng cung cấp các van điện tử, động cơ servo rất tin cậy cho việc điều khiển lưu lượng nước nóng qua cuộn sưởi, đảm bảo đáp ứng nhanh và chính xác yêu cầu nhiệt độ.

*Tóm lại, cơ chế điều khiển của hộp VAV single duct có sưởi là một hệ thống phản hồi kín: cảm biến đo nhiệt độ và lưu lượng, bộ điều khiển tính toán, rồi xuất lệnh đến van gió và bộ sưởi. Nhờ đó, mỗi hộp VAV trở thành một đơn vị điều tiết vi khí hậu độc lập, có thể kết nối vào hệ thống quản lý tòa nhà hoặc hoạt động cục bộ để duy trì môi trường tiện nghi cho từng không gian.*

#### 4. Sơ đồ nguyên lý và trình tự điều khiển

Để hiểu rõ hơn, ta xem trình tự điều khiển của một hộp VAV single duct không quạt có sưởi thông qua các bước sau (tham khảo hình 1 ở trên và mô tả của PNNL ([Variable Air Volume \(VAV\) Systems Operations and Maintenance | PNNL](#))):

1. **Khi phòng cần làm mát:** Thermostat phòng phát hiện nhiệt độ cao hơn điểm đặt → Bộ điều khiển ra lệnh mở van gió lớn dần (tăng lưu lượng gió lạnh từ AHU). Cuộn sưởi tắt hoàn toàn. Lưu lượng tăng đến khi nhiệt độ phòng bắt đầu hạ và tiến về điểm đặt hoặc chạm giới hạn lưu lượng tối đa cài đặt.
2. **Khi nhiệt độ phòng đạt điểm đặt:** Bộ điều khiển bắt đầu đóng bớt van gió để giảm lưu lượng về mức tối thiểu đủ thông gió. Ở khoảng nhiệt độ lân cận điểm đặt này (vùng deadband), hệ thống giữ van

gió ở mức min, đủ cấp gió tươi và duy trì nhiệt độ ổn định. Bộ sưởi tiếp tục tắt.

- 3. Khi phòng trở nên quá lạnh (dư lạnh, dưới điểm đặt):** Thermostat báo hiệu nhu cầu sưởi → Bộ điều khiển giữ van gió ở mức tối thiểu (hoặc một giá trị lưu lượng sưởi đã đặt) để tránh thổi thêm khí lạnh. Đồng thời, kích hoạt bộ sưởi: nếu cuộn nước nóng thì mở van nước nóng (theo một % nhất định, có thể tăng dần), nếu điện thì bật các tầng điện trở. Không khí lạnh qua cuộn sẽ được hâm nóng trước khi cấp vào phòng, giúp tăng nhiệt độ phòng dần lên.
- 4. Khi phòng ấm lên về lại điểm đặt:** Bộ điều khiển sẽ tắt dần bộ sưởi (đóng van nước nóng hoặc ngắt điện trở) khi nhiệt độ tiến gần setpoint. Nếu nhiệt độ tiếp tục tăng cao hơn setpoint (do quán tính nhiệt), hệ thống có thể chuyển lại chế độ làm mát: van gió mở trở lại. Chu trình lại lặp lại như bước 1.

Trong quá trình trên, bộ điều khiển luôn giám sát cả nhiệt độ phòng (T) và lưu lượng gió (F) để quyết định hành động. Một số điểm trong trình tự điều khiển thực tế cần chú ý:

- **Luôn đảm bảo một lưu lượng gió tối thiểu khi bật sưởi**, để tránh hiện tượng thổi khí quá nóng cục bộ và để có không khí phân phối nhiệt đều trong phòng. Với điện trở sưởi, tối quan trọng phải có lưu lượng gió đủ (thường có công tắc chênh áp gió để chỉ cho phép điện trở hoạt động khi có gió).
- **Độ trễ (hysteresis):** Hệ thống thường thiết lập một khoảng trễ giữa chế độ lạnh và sưởi để tránh dao động qua lại liên tục (hunting). Ví dụ, nhiệt độ phải thấp hơn setpoint 1°C mới kích sưởi, và cao hơn setpoint 1°C mới giảm lạnh, tạo khoảng trung tính ~2°C.
- **Reset nhiệt độ gió cấp:** Nhiều hệ thống BMS có thể thực hiện chiến lược *supply air temperature reset*, tức là tăng nhiệt độ gió lạnh trung tâm (ví dụ từ 13°C lên 16-18°C) khi đa số vùng đều yêu cầu sưởi. Điều này giảm chênh lệch nhiệt cần reheat, tiết kiệm năng

lượng. Tuy nhiên, ngay cả khi đó, hộp VAV vẫn cần kiểm soát cục bộ vì mỗi khu vực có thể khác nhau.

*Như vậy, sơ đồ nguyên lý điều khiển cho thấy sự phối hợp: nhiệt độ phòng tăng → tăng gió, nhiệt độ giảm → giảm gió + tăng nhiệt, giữ cho không gian luôn trong khoảng tiện nghi cài đặt (Variable Air Volume (VAV) Systems Operations and Maintenance | PNNL). Trình tự này được thực hiện hoàn toàn tự động bởi bộ điều khiển của hộp VAV, dưới sự giám sát của hệ thống BMS (nếu có).*

## **5. Ưu điểm và nhược điểm của VAV single duct không quạt có sưởi (so với VAV fan-powered và VAV không sưởi)**

Hộp VAV single duct không quạt có sưởi có những ưu nhược điểm riêng, đặc biệt khi so sánh với hai loại thường gặp khác là VAV fan-powered (có quạt) và VAV single duct không sưởi (cooling only). Dưới đây là phân tích so sánh:

### **So với hộp VAV fan-powered (có quạt)**

#### **Ưu điểm của VAV single duct không quạt có sưởi:**

- **Kết cấu đơn giản và chi phí thấp hơn:** Loại không quạt có ít thành phần hơn (không có quạt, động cơ quạt, bộ lọc...), do đó giá thành thiết bị rẻ hơn và bảo trì đơn giản hơn (VAV System Design: What is your style? | naylor.com). Chi phí đầu tư ban đầu nhìn chung thấp hơn so với hộp có quạt (đặc biệt là loại series) do không phải trang bị motor và hệ thống điều khiển quạt riêng (VAV System Design: What is your style? | naylor.com).
- **Hoạt động êm ái hơn:** Không có quạt trong hộp đồng nghĩa độ ồn phát sinh tại hộp rất thấp. Điều này quan trọng cho các khu vực yên tĩnh (phòng làm việc, phòng ngủ bệnh nhân...). Hộp single duct không quạt chủ yếu tạo ra tiếng ồn do khí động học qua van gió, vốn đã được giảm nhờ thiết kế hộp và lớp lót cách âm. So sánh, hộp có quạt thường ồn hơn do tiếng quạt và rung động motor (VAV System Design: What is your style? | naylor.com).

- **Tiết kiệm điện năng tại hộp:** Do không có động cơ quạt cục bộ, hộp VAV không quạt không tiêu thụ điện năng (trừ khi có điện trở sưởi). Trong khi đó, hộp fan-powered có quạt sử dụng điện liên tục (đối với loại series) hoặc định kỳ (loại parallel), góp phần vào tải điện tòa nhà ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)). Đặc biệt, loại fan song song (parallel) có ưu điểm là quạt chỉ chạy khi sưởi thay vì chạy liên tục, nhưng dù sao hộp không quạt vẫn không tốn điện cho quạt ở mọi chế độ.
- **Điều khiển đơn giản:** Không quạt nghĩa là bộ điều khiển chỉ lo quản lý van gió và cuộn sưởi, logic điều khiển đơn giản hơn so với phải điều phối thêm tốc độ quạt hay chuyển chế độ quạt.

### Nhược điểm của VAV single duct không quạt có sưởi:

- **Phụ thuộc áp suất và lưu lượng từ AHU:** Hộp không quạt cần áp lực gió từ quạt trung tâm (AHU) để cấp đủ lưu lượng. Do đó, hệ thống sử dụng nhiều hộp single duct sẽ đòi hỏi quạt AHU có áp suất cao hơn so với hệ thống dùng hộp series (có quạt tăng áp cục bộ) ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)) ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)). Quạt trung tâm lớn hơn dẫn đến tiêu thụ điện cao hơn và độ ồn ống gió cao hơn, cũng như có thể tăng rò rỉ trên đường ống do áp cao ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)). Nói cách khác, mỗi hộp không quạt “mượn sức” quạt tổng, nên quạt tổng phải “gánh” nhiều việc hơn.
- **Khả năng sưởi giới hạn hơn fan-powered:** Vì không có quạt để hút không khí hồi ấm trong trần, hộp single duct khi sưởi chỉ dựa vào cuộn sưởi để hâm nóng không khí lạnh từ AHU (~13°C). Ngược lại, hộp fan-powered (đặc biệt loại song song) khi sưởi sẽ đóng van gió lạnh về min và chạy quạt hút khí trần (ấm ~24°C) trộn vào, nhờ đó giảm nhu cầu reheat đáng kể ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)). Loại series luôn trộn khí hồi cũng có thể tận dụng nhiệt thừa của phòng. Vì thế, hộp không quạt sẽ phải dùng

nhiều năng lượng nhiệt hơn để đạt cùng mức sưởi khi so với hộp có quạt (do đầu vào của nó lạnh hơn nhiều). Tuy nhiên, nếu hệ thống có reset nhiệt độ gió cấp thì nhược điểm này giảm bớt.

- **Không hỗ trợ lưu thông không khí khi tải thấp:** Hộp fan-powered loại series có quạt chạy liên tục, đảm bảo phòng luôn có luồng không khí lưu thông (dù van gió gần đóng). Điều này giúp nhiệt phân bố đều và tránh cảm giác ngột ngạt. Hộp không quạt khi ở lưu lượng tối thiểu sẽ dựa hoàn toàn vào lượng gió nhỏ từ AHU, có thể làm một số khu vực trong phòng kém đều nhiệt. Fan-powered song song khi sưởi cũng tạo luồng tuần hoàn không khí trong phòng tốt hơn. Tất nhiên, nhược điểm này không lớn nếu thiết kế miệng gió hợp lý và có gió tươi tối thiểu.
- **Độ chính xác kiểm soát nhiệt độ kém hơn trong một số trường hợp:** Hộp series có thể tinh chỉnh nhiệt độ bằng cách thay đổi tỷ lệ trộn gió hồi ấm ngay cả khi chưa cần bật cuộn sưởi (chỉ cần tăng quạt hút hồi để sưởi bằng nhiệt dư) ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)). Hộp không quạt thì buộc phải bật cuộn sưởi khi cần tăng nhiệt, dẫn đến bật/tắt nhiệt độ rõ ràng hơn. Dù rằng bộ sưởi modulating có thể điều khiển trơn tru, nhưng sự linh hoạt điều tiết nhiệt độ của fan-powered (đặc biệt series) nhỉnh hơn trong việc bù những chênh lệch nhỏ mà chưa cần dùng đến nhiệt bổ sung ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)).

*Tổng hợp lại, VAV không quạt có sưởi thích hợp cho sự đơn giản, chi phí và độ ồn thấp; còn VAV fan-powered phù hợp hơn nếu ưu tiên hiệu quả năng lượng nhiệt và lưu thông không khí tại chỗ, chấp nhận chi phí và bảo trì cao hơn. Trong thực tế thiết kế, thường khu vực rìa ngoài dùng hộp fan-powered (để sưởi hiệu quả) và khu vực bên trong dùng hộp không quạt (chỉ cần làm mát) ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)) ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)), kết hợp ưu điểm của cả hai.*

## So với hộp VAV single duct không có sưởi (loại chỉ làm lạnh)

### Ưu điểm của hộp VAV có sưởi so với loại không sưởi:

- **Điều tiết nhiệt độ linh hoạt quanh năm:** Rõ ràng, hộp có tích hợp cuộn sưởi có khả năng đáp ứng cả nhu cầu làm mát mùa hè lẫn sưởi ấm mùa đông, hoặc bất kỳ khi nào không gian bị lạnh dưới nhiệt độ đặt. Trong khi đó, hộp VAV không sưởi *chỉ có thể điều chỉnh giảm lưu lượng lạnh* khi phòng quá lạnh, chứ không thể tự tăng nhiệt độ không khí lên. Nhờ cuộn sưởi, vùng được điều khiển sẽ được duy trì ổn định nhiệt độ quanh năm, tránh tình trạng mùa đông bị lạnh vì chỉ có gió lạnh từ AHU. Đặc biệt ở vùng biên có kính hoặc khu vực tải lạnh thấp, khả năng sưởi giúp duy trì tiện nghi nhiệt cho người sử dụng.
- **Tránh hiện tượng “quá lạnh” do gió tươi mùa đông:** Với hệ thống không có tái sưởi, vào mùa đông nếu AHU vẫn cung cấp một lượng gió lạnh (dù đã tắt lạnh và chỉ chạy quạt thông gió), phòng ở rìa ngoài có thể bị thổi không khí lạnh và trở nên quá lạnh. Hộp VAV có sưởi sẽ tăng nhiệt độ gió cấp lên mức dễ chịu, ngăn ngừa sự giảm nhiệt độ ngoài ý muốn ở các khu vực này.
- **Đáp ứng tiêu chuẩn môi trường và sức khỏe:** Trong một số môi trường như bệnh viện, phòng thí nghiệm, yêu cầu kiểm soát nhiệt độ/độ ẩm rất nghiêm ngặt. Hộp VAV có sưởi cho phép giữ nhiệt độ chính xác trong dải hẹp bằng cách sưởi lại không khí nếu cần, giúp tuân thủ các tiêu chuẩn (ví dụ phòng bệnh không được quá lạnh dưới ngưỡng cho phép). Nếu chỉ có VAV không sưởi, khi tải lạnh thấp và gió tươi tối thiểu vẫn nhiều, nhiệt độ phòng có thể xuống dưới mức yêu cầu mà không cách gì tăng lên trừ phi tắt quạt – điều này vi phạm yêu cầu thông gió.
- **Phạm vi ứng dụng rộng hơn:** Hộp không sưởi hầu như chỉ phù hợp với khu vực nội thất (không có tải sưởi) hoặc khí hậu nóng quanh năm. Trong khi đó, hộp có sưởi dùng tốt cho cả ngoại thất lẫn nội thất, từ văn phòng, lớp học, đến bệnh viện, khách sạn... bất kể khí



hậu có mùa đông lạnh hay không. Tính đa dụng của hộp có sưởi cao hơn, giảm nhu cầu pha trộn loại thiết bị.

### **Nhược điểm của hộp VAV có sưởi so với loại không sưởi:**

- **Chi phí đầu tư và vận hành cao hơn:** Thêm cuộn sưởi (đặc biệt là cuộn điện) sẽ làm tăng chi phí thiết bị và lắp đặt (đường ống nước nóng, dây điện, công suất điện). Vận hành cuộn sưởi cũng tiêu tốn năng lượng (nhiên liệu cho nồi hơi hoặc điện năng cho điện trở). Trong khi hộp không sưởi không phát sinh phần tiêu hao này – toàn bộ sưởi ấm (nếu cần) phải do hệ thống khác đảm nhiệm hoặc không có. Nói cách khác, hộp không sưởi tiết kiệm năng lượng hơn nếu tòa nhà không cần sưởi cục bộ.
- **Phức tạp hơn về kiểm soát và bảo trì:** Hộp có sưởi đòi hỏi thêm thiết bị điều khiển (van nước nóng, dây điện, cảm biến an toàn...), làm hệ thống phức tạp hơn một chút so với hộp đơn thuần chỉ có van gió. Việc bảo trì định kỳ cũng cần kiểm tra cuộn sưởi: vệ sinh bề mặt trao đổi nhiệt, kiểm tra rò rỉ nước, đảm bảo điện trở và cảm biến quá nhiệt hoạt động tốt, v.v.
- **Nguy cơ quá nhiệt hoặc mất kiểm soát nếu lỗi:** Nếu khâu điều khiển sưởi gặp trục trặc (ví dụ van nước nóng kẹt mở, điện trở không ngắt khi cần), phòng có thể bị quá nóng, gây khó chịu hoặc lãng phí. Hộp không sưởi không có rủi ro này (tồi nhất chỉ là phòng lạnh hơn mong muốn, dễ phát hiện khi người dùng kêu lạnh).
- **Cần nguồn cấp dịch vụ phụ:** Hộp có sưởi nước nóng yêu cầu mạng lưới cấp nước nóng tới từng hộp, phức tạp hệ thống ống. Hộp điện trở sưởi yêu cầu nguồn điện công suất cao tới mỗi hộp (thường điện 3 pha cho điện trở lớn), đòi hỏi tính toán tải điện tòa nhà. Nếu tránh những hệ thống phụ này, chủ đầu tư có thể chọn giải pháp không sưởi để đơn giản hóa, nhưng đánh đổi bằng sự linh hoạt kiểm soát nhiệt độ.

Tựu trung, hộp VAV single duct có sưởi đem lại khả năng điều khiển vi khí hậu vượt trội và thoải mái hơn, nhất là trong các công trình đòi hỏi chất lượng môi trường cao hoặc khí hậu có mùa lạnh. Ngược lại, hộp VAV không sưởi phù hợp khi ưu tiên đơn giản, chi phí thấp và khi tải sưởi không đáng kể (ví dụ vùng nội thất hoặc khí hậu nóng). Thực tế thiết kế hiện nay cho thấy ngay cả vùng nội thất đôi khi cũng trang bị sưởi để bù việc quá lạnh do gió tươi tối thiểu trong không gian ít tải nhiệt ([VAV System Design: What is your style? | naylor.com](#)), do xu hướng cách nhiệt và tiết kiệm năng lượng khiến tải bên trong giảm.

## 6. Ứng dụng thực tế trong công trình

Hộp VAV single duct không quạt có tích hợp sưởi được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều hòa không khí trung tâm, đặc biệt cho những tòa nhà thương mại, văn phòng, bệnh viện, trường học nơi yêu cầu điều chỉnh nhiệt độ theo từng khu vực (zone) một cách linh hoạt. Một số ứng dụng tiêu biểu và lợi ích của loại hộp VAV này:

- **Khu vực vùng biên (perimeter zones):** Đây là ứng dụng quan trọng nhất. Vùng biên (sát tường ngoài, cửa kính) thường có tải lạnh cao vào mùa hè (do nắng nóng) nhưng lại tải nhiệt âm (mất nhiệt) vào mùa đông. Sử dụng hộp VAV có sưởi cho các khu vực này cho phép cung cấp đủ lạnh khi cần và bù nhiệt sưởi ấm cục bộ vào mùa đông. Ví dụ, trong một tòa nhà văn phòng cao tầng, các phòng sát mặt kính sẽ dùng VAV có cuộn sưởi để đảm bảo nhân viên ngồi gần cửa kính không bị lạnh vào mùa đông ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#)). Vào mùa hè, cùng những hộp đó sẽ modulate gió lạnh để chống nóng. Giải pháp này hiệu quả hơn so với việc dùng hệ thống sưởi toàn bộ vì chỉ sưởi nơi cần và đúng mức cần thiết.
- **Khu vực nội thất (interior zones) có tải biến thiên:** Khu vực trung tâm tòa nhà thường chỉ cần làm mát, nhưng do hiện nay tải bên trong (thiết bị, người) có xu hướng giảm nhờ hiệu quả năng lượng cao, đã xuất hiện trường hợp ngay cả nội thất cũng bị quá lạnh với lượng gió tươi tối thiểu ([VAV System Design: What is your style? |](#)

[nailor.com](http://nailor.com)). Do đó, nhiều thiết kế bắt đầu trang bị cả cuộn sưởi cho một số hộp VAV nội thất để duy trì nhiệt độ thoải mái khi phòng ít người hoặc thiết bị. Thư viện, rạp hát, phòng họp lớn... khi có ít người, nhiệt độ có thể xuống thấp; hộp VAV có sưởi sẽ đảm nhận việc giữ nhiệt độ không giảm quá mức bằng cách giảm gió và sưởi nhẹ lại không khí.

- **Văn phòng và không gian làm việc mở:** Hệ thống VAV single duct có sưởi rất phổ biến trong cao ốc văn phòng. Mỗi phòng hoặc khu vực modul đều lắp một hộp VAV để nhân viên có thể điều chỉnh nhiệt độ riêng (thông qua thermostat) ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#)). Các phòng họp, khu vực làm việc mở theo hướng khác nhau trong cùng một tầng có thể đồng thời có người cần làm mát, người cần sưởi. Hộp VAV có sưởi cho phép giải quyết tình huống này dễ dàng – vùng nắng nhiều thì mở van gió, vùng râm mát thì đóng bớt gió và sưởi lên. Tính cá nhân hóa và linh hoạt theo vùng là ưu điểm lớn trong môi trường văn phòng ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#)).
- **Bệnh viện và cơ sở chăm sóc sức khỏe:** Bệnh viện đòi hỏi kiểm soát nhiệt ẩm rất chặt chẽ theo từng phòng – phòng mổ cần lạnh hơn, phòng bệnh nhân cần ấm áp dễ chịu, phòng xét nghiệm lại có yêu cầu riêng. Hộp VAV có sưởi (đặc biệt loại dùng nước nóng để không làm khô không khí) được sử dụng nhiều để đáp ứng các yêu cầu này ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#)). Chẳng hạn, ban ngày phòng bệnh có thể cần lạnh để bệnh nhân thoải mái, nhưng đêm lạnh thì hộp VAV sẽ tự động sưởi nhẹ để giữ phòng không quá lạnh. Hơn nữa, bệnh viện cần tránh quá nhiệt độ hay quá ẩm vì ảnh hưởng đến thiết bị y tế và vi sinh – VAV với reheat giúp cân bằng tốt (gió lạnh đã khử ẩm, sau đó reheat nâng nhiệt độ tới mức mong muốn mà độ ẩm vẫn thấp).
- **Trường học, phòng học, hội trường:** Các không gian này có mật độ người thay đổi nhiều (lớp học khi đầy người, khi vắng, hội trường lúc đông kín, lúc trống). Hộp VAV có sưởi cho phép duy trì nhiệt độ

ổn định bất kể số người thay đổi (What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?). Ví dụ, một lớp học buổi sáng nắng có thể cần lạnh nhiều, nhưng buổi chiều ít người và trời mát có thể cần sưởi chút để sinh viên thoải mái. VAV reheat đáp ứng nhanh các kịch bản này. Ngoài ra, yêu cầu thông gió tươi trong lớp học cũng được đảm bảo qua lưu lượng tối thiểu, tránh ngột ngạt (What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?).

- **Phòng thí nghiệm, phòng máy chủ, cơ sở nghiên cứu:** Những nơi này đôi khi có thiết bị tỏa nhiệt lớn nhưng cũng có lúc tải lạnh giảm (thiết bị tắt hoặc chế độ chờ). Một số phòng thí nghiệm đòi hỏi nhiệt độ phải ổn định cho thí nghiệm chính xác. VAV có sưởi có thể cung cấp khả năng kiểm soát nhiệt độ rất chính xác bằng cách vi chỉnh cả lạnh lẫn nhiệt theo nhu cầu (What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?). Thêm nữa, nhiều phòng lab cần duy trì áp suất dương/âm bằng lưu lượng gió – hộp VAV sẽ quản lý lưu lượng đó và sưởi lại nếu cần.
- **Công trình công cộng, trung tâm thương mại:** Các tòa nhà chính phủ, trung tâm hội nghị, sân bay, cửa hàng bán lẻ lớn... thường sử dụng VAV để tối ưu năng lượng và tiện nghi. Hộp VAV single duct có sưởi được bố trí cho các khu vực cần cân bằng giữa hiệu quả và thoải mái nhiệt – ví dụ sảnh lớn có cửa kính (cần sưởi khu gần cửa vào mùa đông), khu văn phòng trong sân bay, phòng VIP, v.v. Việc dùng loại hộp này cho phép thiết kế linh hoạt: cùng một hệ AHU, có zone sưởi, zone chỉ làm mát, đáp ứng đa dạng nhu cầu mà vẫn tiết kiệm năng lượng so với hệ CAV truyền thống (What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?).

*Tóm lại, hộp VAV single duct không quạt có sưởi được ưa chuộng trong rất nhiều loại công trình nhờ khả năng điều khiển zoning linh hoạt, đảm bảo tiện nghi nhiệt độ, thông gió theo từng khu vực và tối ưu hóa hiệu quả năng lượng. Theo Price Industries, đây là một trong những hệ thống HVAC phổ biến nhất ở Bắc Mỹ do cân bằng được giữa hiệu quả, kiểm soát*

vùng và tính linh hoạt trong thiết kế ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#)) ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#)).

## 7. Tài liệu kỹ thuật từ các hãng (Titus, Price, Belimo) và tham khảo

Nhiều hãng sản xuất thiết bị HVAC đã phát triển các dòng sản phẩm hộp VAV single duct có sưởi và các phụ kiện/thiết bị điều khiển liên quan. Dưới đây là một số tài liệu và thông tin từ các hãng uy tín, được chọn lọc và diễn giải:

- **Titus HVAC:** Titus cung cấp nhiều model hộp VAV single duct, như dòng ESV/DESV (Digital Single Duct). Theo tài liệu Titus, hộp single duct là nền tảng cho hệ thống VAV, thực hiện chức năng cơ bản là điều tiết lưu lượng gió đến vùng theo nhu cầu nhiệt ([DESV](#)). Titus có tùy chọn tích hợp cả cuộn điện trở sưởi ngay trong hộp VAV loại single duct hoặc fan-powered ([ Electric Heat ](<https://www.titus-hvac.com/Products/Accessories/Electric>). Ngoài ra, Titus cũng có các tài liệu hướng dẫn đấu nối điều khiển, sơ đồ wiring cho thermostat, v.v., giúp kỹ sư dễ dàng tích hợp hộp VAV vào hệ thống BMS.
- **Price Industries:** Price là hãng nổi tiếng với các thiết bị khuếch tán và terminal units. Theo blog kỹ thuật của Price (The Science of Comfort), hệ thống VAV single-duct với tái nhiệt bằng nước nóng là một trong những hệ thống HVAC thương mại phổ biến nhất ở Bắc Mỹ vì cung cấp đồng thời heating, cooling và thông gió hiệu quả ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#)). Price nhấn mạnh ưu điểm của hệ thống này trong việc điều khiển vùng linh hoạt, cân bằng giữa hiệu quả năng lượng và tiện nghi cho các không gian như văn phòng, bệnh viện, trường học, phòng lab ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#)). Price Industries cung cấp các dòng terminal unit như SDV (Single Duct VAV) có thể đi kèm cuộn nước nóng 1-2 hàng hoặc điện trở nhiều cấp tùy chọn. Các tài liệu kỹ thuật của Price thường bao gồm catalog thông số lưu lượng, áp

suất, độ ồn cũng như hướng dẫn thiết kế hệ thống. Ví dụ, blog Price có đưa ra sơ đồ nguyên lý hệ thống VAV reheat với các thành phần AHU, VAV box và nồi hơi, minh họa rất rõ ràng (Hình 1 ở trên) về cách hệ thống hoạt động đồng bộ ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#)) ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#)).

- **Belimo:** Là hãng hàng đầu về cơ cấu chấp hành và van điều khiển. Belimo không trực tiếp sản xuất hộp VAV nhưng các sản phẩm của họ hầu như có mặt trong mọi hệ VAV hiện đại. Đáng chú ý, Belimo có dòng VAV-Compact – một bộ truyền động van gió tích hợp sẵn cảm biến lưu lượng và bộ điều khiển PID bên trong ([VAV Actuators | VAV system in HVAC | Belimo](#)). Thiết bị này lắp trên thân van gió của hộp, cho phép điều khiển lưu lượng chính xác (áp suất độc lập) và có thể nối mạng BMS qua các giao thức BACnet, Modbus, KNX... ([VAV Actuators | VAV system in HVAC | Belimo](#)). Nhiều hộp VAV của các hãng (Titus, Price, Nailor...) thường lắp sẵn bộ Belimo VAV này để giảm thời gian cân chỉnh. Bên cạnh đó, van nước nóng Belimo (globe valve hoặc ball valve có động cơ điện) được sử dụng rộng rãi để điều tiết dòng nước qua cuộn sưởi – Belimo có các van tuyến tính độ chính xác cao, đảm bảo lượng nước cấp đúng với tín hiệu điều khiển, giúp khống chế nhiệt độ rất mượt cho vùng. Belimo cũng cung cấp các cảm biến nhiệt độ, chênh áp, nhưng nổi bật nhất vẫn là các actuator tin cậy, tuổi thọ cao cho HVAC.
- **Johnson Controls, Trane, Carrier (OEM):** Các hãng này cung cấp cả hệ thống điều hòa và cũng sản xuất terminal unit. Thí dụ, Johnson Controls có model TSS & TSL single duct VAV với tùy chọn gắn sẵn cuộn sưởi nước nóng hoặc điện trở tại nhà máy ([Variable Air Volume \(VAV\) Systems Operations and Maintenance | PNNL](#)). Hãng này cũng có hướng dẫn vận hành, trong đó mô tả: “Đơn vị cơ bản gồm vỏ kim loại và van gió điều tiết lưu lượng vào vùng chiếm dụng... có thể đặt hàng kèm cuộn nước nóng hoặc điện trở điện. Các đơn vị reheat này chủ yếu dùng để gia nhiệt lại không khí cấp khi tải trong phòng giảm” (). Trane (VariTrane) và Carrier (Air

Terminal) cũng có các dòng VAV tương tự với các cải tiến về giảm rò rỉ, giảm ồn. Các tài liệu của họ thường nêu bật khả năng điều khiển chính xác, độ kín cao, hiệu suất âm học tốt của hộp VAV thế hệ mới, đồng thời cung cấp các sơ đồ đấu nối BMS, bảng lựa chọn kích cỡ rất chi tiết để kỹ sư thiết kế dễ dàng tích hợp.

- **Nailor Industries:** Nailor sản xuất cả hộp VAV single duct và fan-powered. Một bài viết của hãng về thiết kế hệ VAV đã so sánh các kiểu hộp và chỉ ra ưu nhược điểm từng loại ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)) ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)). Nailor cũng cung cấp hình ảnh trực quan của hộp single duct với cuộn điện trở (xem Hình 2 dưới đây). Hãng này có các model như 30R (single duct, Reheat) và 35X (series fan-powered), kèm tùy chọn tiêu âm, sẵn bộ điều khiển. Tài liệu của Nailor nhấn mạnh việc chọn kiểu hộp phù hợp có thể tiết kiệm năng lượng lên đến 20-30% cho tòa nhà tùy khí hậu và chế độ vận hành ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)) ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)).

([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)) Hình 2: Ví dụ về hai loại hộp VAV có sưởi của Nailor. Bên trái là hộp VAV fan-powered song song với quạt và cuộn nước nóng (thấy quạt ly tâm màu đen và ống nối nước nóng bằng đồng). Bên phải là hộp single duct không quạt với cuộn điện trở sưởi (các điện trở lò xo kèm lưới bảo vệ ở cửa ra) ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)) ([Electric Heat](#) (<https://www.titus-hvac.com/Products/Accessories/ElectricHeat#:~:text=Integral%20electric%20coils%20are%20available,duct%20and%20fan%20powered%20terminals>)). Cả hai đều có van gió tròn ở đầu vào và vỏ bọc cách nhiệt.

Tài liệu tham khảo: Để nghiên cứu sâu hơn, bạn có thể tham khảo các nguồn sau (tiếng Anh) đã trích dẫn trong phân tích trên: hướng dẫn O&M của PNNL về hệ VAV ([Variable Air Volume \(VAV\) Systems Operations and Maintenance | PNNL](#)) ([Variable Air Volume \(VAV\) Systems Operations and Maintenance | PNNL](#)), blog Price Industries về hệ single-duct VAV

reheat ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#)) ([What Is a Single-Duct Hydronic Reheat System?](#)), bài viết kỹ thuật của Nailor về so sánh các kiểu VAV ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)) ([VAV System Design: What is your style? | nailor.com](#)), cùng các catalog sản phẩm của Titus, Johnson Controls, Trane... Những tài liệu này cung cấp cả nền tảng lý thuyết và dữ liệu kỹ thuật cụ thể, giúp hiểu rõ hơn về thiết kế và vận hành hộp VAV single duct có sưởi trong thực tế.

## Câu Hỏi Trắc Nghiệm Ngắn

1. Mô tả cấu tạo cơ bản của một hộp VAV single duct không quạt có sưởi. Nêu ít nhất ba thành phần chính và chức năng của chúng.
2. Giải thích nguyên lý hoạt động của hộp VAV single duct không quạt có sưởi trong chế độ làm mát. Điều gì xảy ra với van gió và bộ sưởi?
3. Chế độ "deadband" (duy trì/đáp ứng thông gió) của hộp VAV single duct không quạt có sưởi nhằm mục đích gì? Lưu lượng gió ở chế độ này thường là bao nhiêu?
4. Khi nhiệt độ phòng xuống thấp hơn nhiệt độ cài đặt, hộp VAV single duct không quạt có sưởi hoạt động như thế nào để tăng nhiệt độ?
5. Nêu hai loại cuộn sưởi chính được tích hợp trong hộp VAV single duct không quạt có sưởi và nguồn năng lượng tương ứng của chúng.
6. Bộ điều khiển của hộp VAV single duct không quạt có sưởi nhận tín hiệu từ những cảm biến nào? Các tín hiệu này được sử dụng để làm gì?
7. So sánh một ưu điểm và một nhược điểm của hộp VAV single duct không quạt có sưởi so với hộp VAV fan-powered (có quạt).
8. So sánh một ưu điểm của hộp VAV single duct có sưởi so với hộp VAV single duct không có sưởi (chỉ làm lạnh).



9. Trong những khu vực nào của tòa nhà thì việc sử dụng hộp VAV single duct không quạt có sưởi đặc biệt hữu ích? Cho một ví dụ cụ thể.
10. Các hãng như Belimo đóng vai trò gì trong hệ thống hộp VAV single duct không quạt có sưởi, mặc dù họ không trực tiếp sản xuất loại hộp này?

### **Đáp Án Câu Hỏi Trắc Nghiệm Ngắn**

1. Hộp VAV single duct không quạt có sưởi bao gồm vỏ hộp kim loại, van điều tiết lưu lượng gió ở đầu vào để thay đổi lượng gió cấp, và bộ sưởi tích hợp (cuộn nước nóng hoặc điện trở) ở đầu ra để làm nóng không khí khi cần. Cảm biến lưu lượng gió thường được lắp ở đầu vào để đo lưu lượng thực tế.
2. Trong chế độ làm mát, khi nhiệt độ phòng cao hơn cài đặt, bộ điều khiển sẽ mở van gió lớn hơn để tăng lưu lượng gió lạnh từ AHU vào phòng. Lúc này, bộ sưởi sẽ tắt hoàn toàn để không cản trở quá trình làm mát.
3. Chế độ "deadband" nhằm duy trì một lượng gió tối thiểu (thường 20-30% lưu lượng tối đa) để đảm bảo thông gió và cân bằng áp suất trong phòng khi không có nhu cầu làm mát hoặc sưởi ấm đáng kể. Cuộn sưởi vẫn tắt ở chế độ này.
4. Khi phòng quá lạnh, hộp VAV sẽ giữ van gió ở mức lưu lượng tối thiểu (để tránh thổi thêm khí lạnh) và kích hoạt bộ sưởi (bật cuộn nước nóng hoặc điện trở) để làm nóng không khí trước khi cấp vào phòng, từ đó tăng nhiệt độ phòng.
5. Hai loại cuộn sưởi chính là cuộn nước nóng (sử dụng nước nóng từ nồi hơi hoặc bơm nhiệt) và điện trở sưởi (sử dụng điện năng).
6. Bộ điều khiển nhận tín hiệu từ cảm biến nhiệt độ phòng (thermostat) để xác định nhu cầu làm mát hoặc sưởi ấm, và từ cảm biến lưu lượng gió để điều chỉnh van gió sao cho lưu lượng cấp đúng theo yêu cầu và độc lập với áp suất đường ống.

7. Một ưu điểm là kết cấu đơn giản và chi phí thấp hơn do không có quạt và các thành phần liên quan. Một nhược điểm là phụ thuộc vào áp suất và lưu lượng gió từ AHU, đòi hỏi quạt trung tâm có áp suất cao hơn.
8. Một ưu điểm là khả năng điều tiết nhiệt độ linh hoạt quanh năm, đáp ứng cả nhu cầu làm mát và sưởi ấm, đặc biệt hữu ích trong mùa đông hoặc khi không gian bị quá lạnh.
9. Hộp VAV single duct không quạt có sưởi đặc biệt hữu ích ở khu vực vùng biên (sát tường ngoài, cửa kính) của tòa nhà. Ví dụ, trong một văn phòng sát mặt kính, hộp VAV có sưởi giúp bù nhiệt vào mùa đông để nhân viên không bị lạnh.
10. Belimo là nhà cung cấp các cơ cấu chấp hành (actuator) cho van gió và van điều khiển nước nóng, cũng như các bộ điều khiển VAV tích hợp (VAV-Compact) được sử dụng rộng rãi trong hệ thống hộp VAV của nhiều nhà sản xuất khác.

### **Câu Hỏi Luận (Không Cần Trả Lời)**

1. Phân tích chi tiết các yếu tố cần cân nhắc khi lựa chọn giữa hộp VAV single duct không quạt có sưởi và hộp VAV fan-powered cho một dự án cụ thể (ví dụ: tòa nhà văn phòng cao tầng ở vùng khí hậu có cả mùa hè nóng và mùa đông lạnh).
2. Đánh giá vai trò của hệ thống điều khiển và các giao thức kết nối BMS (Building Management System) đối với hiệu quả vận hành và quản lý năng lượng của hệ thống HVAC sử dụng hộp VAV single duct có sưởi.
3. Thảo luận về tầm quan trọng của việc tích hợp bộ sưởi trong hộp VAV single duct không quạt đối với việc đảm bảo tiện nghi nhiệt và đáp ứng các tiêu chuẩn môi trường và sức khỏe trong các loại công trình khác nhau (ví dụ: bệnh viện, trường học).
4. So sánh hiệu quả năng lượng và chi phí vận hành giữa hệ thống HVAC sử dụng hộp VAV single duct có sưởi bằng cuộn nước nóng

và hệ thống sử dụng điện trở sưởi. Những yếu tố nào ảnh hưởng đến sự lựa chọn giữa hai loại này?

5. Dựa trên các tài liệu tham khảo từ các hãng sản xuất (Titus, Price, Belimo, Nailor), hãy trình bày những xu hướng phát triển và cải tiến mới nhất trong công nghệ hộp VAV single duct có sưởi.

### **Bảng Chú Giải Thuật Ngữ**

- **AHU (Air Handling Unit):** Thiết bị xử lý không khí trung tâm, thực hiện các chức năng như lọc, làm lạnh/sưởi ấm, và khử ẩm/tạo ẩm cho không khí trước khi cấp vào không gian.
- **VAV (Variable Air Volume):** Hệ thống điều hòa không khí thay đổi lưu lượng gió, trong đó lưu lượng gió cấp vào từng khu vực được điều chỉnh theo tải nhiệt.
- **VAV Box (Hộp VAV):** Thiết bị đầu cuối trong hệ thống VAV, có chức năng điều tiết lưu lượng gió cấp vào một vùng điều hòa cụ thể.
- **Single Duct:** Loại hộp VAV chỉ có một cửa gió cấp duy nhất.
- **Damper (Van điều tiết lưu lượng gió):** Cánh van bên trong hộp VAV có thể xoay để thay đổi tiết diện dòng khí, từ đó điều chỉnh lưu lượng gió đi qua.
- **Actuator (Bộ truyền động van gió):** Thiết bị cơ điện được điều khiển bởi bộ điều khiển VAV, có chức năng xoay trục van gió để đóng/mở van.
- **Flow Sensor (Cảm biến lưu lượng gió):** Thiết bị đo vận tốc hoặc áp suất của dòng khí để xác định lưu lượng gió thực tế qua hộp VAV.
- **Heating Coil (Cuộn sưởi):** Bộ trao đổi nhiệt tích hợp trong hộp VAV để làm nóng không khí, có thể là cuộn nước nóng hoặc điện trở sưởi.
- **Thermostat (Cảm biến nhiệt độ phòng):** Thiết bị đo nhiệt độ không khí trong không gian điều hòa và gửi tín hiệu về bộ điều khiển VAV.

- **Controller (Bộ điều khiển VAV):** Bộ phận điện tử (analog hoặc DDC) nhận tín hiệu từ các cảm biến và điều khiển van gió và bộ sưởi để duy trì nhiệt độ cài đặt.
- **DDC (Digital Direct Control):** Hệ thống điều khiển trực tiếp bằng kỹ thuật số, thường sử dụng bộ vi xử lý.
- **BMS (Building Management System):** Hệ thống quản lý tòa nhà, cho phép giám sát và điều khiển các hệ thống kỹ thuật của tòa nhà, bao gồm cả HVAC.
- **BACnet, Modbus, LonWorks:** Các giao thức truyền thông phổ biến được sử dụng để kết nối các thiết bị HVAC vào hệ thống BMS.
- **Deadband (Vùng chết/Vùng trung hòa):** Khoảng nhiệt độ xung quanh điểm cài đặt mà hệ thống không thực hiện cả chức năng làm mát lẫn sưởi ấm.
- **Minimum Flow (Lưu lượng tối thiểu):** Lượng gió tối thiểu được duy trì cấp vào không gian để đảm bảo thông gió và cân bằng áp suất.
- **Maximum Flow (Lưu lượng tối đa):** Lượng gió lớn nhất mà hộp VAV có thể cấp vào không gian khi có nhu cầu làm mát cao nhất.
- **Reheat (Tái sưởi):** Quá trình làm nóng lại không khí đã được làm lạnh và khử ẩm bởi AHU.
- **Fan-Powered VAV Box (Hộp VAV có quạt):** Loại hộp VAV có tích hợp thêm một quạt cục bộ để hỗ trợ cấp gió hoặc hút gió hồi.
- **Series Fan-Powered VAV Box:** Loại hộp VAV có quạt đặt nối tiếp với dòng gió cấp từ AHU, quạt chạy liên tục.
- **Parallel Fan-Powered VAV Box:** Loại hộp VAV có quạt đặt song song với dòng gió cấp từ AHU, quạt thường chỉ chạy khi cần sưởi.
- **Supply Air Temperature Reset:** Chiến lược điều khiển của BMS nhằm điều chỉnh nhiệt độ gió cấp từ AHU dựa trên nhu cầu của các vùng điều hòa.

- **UL/ETL Listing:** Chứng nhận an toàn sản phẩm được cấp bởi các tổ chức Underwriters Laboratories (UL) hoặc Intertek (ETL).
- **PID Control:** Thuật toán điều khiển Proportional-Integral-Derivative, được sử dụng để điều chỉnh van gió và bộ sưởi một cách chính xác.
- **Flow Proving:** Cơ chế xác nhận có đủ lưu lượng gió qua hộp trước khi cho phép bộ điện trở sưởi hoạt động, nhằm đảm bảo an toàn.
- **Modulating Control:** Điều khiển theo tỷ lệ, trong đó tín hiệu điều khiển có thể thay đổi liên tục trong một phạm vi nhất định (ví dụ 0-10VDC) để điều chỉnh mức độ hoạt động của thiết bị (ví dụ độ mở van nước nóng).
- **On/Off Control:** Điều khiển bật/tắt đơn giản.
- **Time-Proportioning Control:** Phương pháp điều khiển bật/tắt theo chu kỳ thời gian để tạo ra hiệu ứng điều khiển theo tỷ lệ.
- **Hysteresis (Độ trễ):** Khoảng chênh lệch giữa điểm kích hoạt và điểm ngắt của một thiết bị điều khiển, nhằm tránh dao động liên tục.