

CONTROL THE AIR CONDITIONING SYSTEM IN PVI BUILDING USING ANDOVER CONTINUUM SOFTWARE

Hoang Thi Thuong¹, Do Thi Mai^{1*}, Nguyen Thi Thanh Binh², Nguyen Huu Bac³

¹TNU - University of Information and Communication Technology

²Thai Nguyen University, ³AG Vietnam Technology Research Joint Stock Company

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 20/10/2022 Revised: 11/01/2023 Published: 12/01/2023 KEYWORDS Building Automation System (BAS) Building control and management Andover Continuum software Air conditioning system Control solution	Building Automation System (BAS) is currently being applied a lot in modern high-rise building systems. The main objective of the BAS system is to monitor and control all systems in the smart building with a single control system to optimize actual performance. In which the air conditioning system (HVAC) is one of the most important systems in the BAS system. The content of the article presents the results of using Andover Continuum software of Schneider Electric in the work of setting up drivers and designing the monitoring interface for HVAC application of air conditioning system information in PVI building (Hanoi). Through our audience analysis, the authors came up with the algorithm driver; built the transport module modular control and cold water pump pressure according to 2 circuit structure adjustment. Based on the research method of simulation combined with the system experiment, the result shows that the control parameters follow the set value with the error within the allowable limits (the error of temperature is less than 0.3°C, and the error of pressure is less than 0.65%). HVAC operating parameters are fully monitored, closely and directly.

ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG ĐIỀU HÒA THÔNG GIÓ TRONG TÒA NHÀ PVI SỬ DỤNG PHẦN MỀM ANDOVER CONTINUUM

Hoàng Thị Thương^{1*}, Đỗ Thị Mai¹, Nguyễn Thị Thanh Bình², Nguyễn Hữu Bắc³

¹Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên

²Đại học Thái Nguyên, ³Công ty Cổ phần nghiên cứu công nghệ AG Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 20/10/2022 Ngày hoàn thiện: 11/01/2023 Ngày đăng: 12/01/2023 TỪ KHÓA Tự động hóa tòa nhà (BAS) Điều khiển và quản lý tòa nhà Phần mềm Andover Continuum Hệ thống điều hòa thông gió Giải pháp điều khiển	Hệ thống tự động hóa tòa nhà (Building Automation System - BAS) hiện đang được ứng dụng rất nhiều trong các hệ thống tòa nhà cao tầng hiện đại. Mục tiêu chính của hệ BAS là giám sát và điều khiển tất cả các hệ thống trong tòa nhà thông minh bằng một hệ điều khiển duy nhất để tối ưu hiệu suất thực tế. Trong đó hệ điều hòa thông gió (HVAC) là một trong những hệ quan trọng nhất trong hệ BAS. Nội dung bài báo trình bày về kết quả sử dụng phần mềm Andover Continuum của hãng Schneider Electric vào việc lập trình điều khiển và thiết kế giao diện giám sát hệ thống điều hòa thông gió HVAC ứng dụng trong tòa nhà PVI (Hà Nội). Thông qua việc phân tích đối tượng chúng tôi đã đưa ra thuật toán điều khiển; xây dựng được mô hình hàm truyền điều khiển lưu lượng và áp suất bơm nước lạnh theo cấu trúc 2 mạch vòng điều chỉnh. Dựa trên phương pháp nghiên cứu mô phỏng kết hợp thực nghiệm hệ thống cho thấy các thông số điều khiển bám sát giá trị đặt với sai số nằm trong giới hạn cho phép (sai lệch nhiệt độ dưới 0,3°C và áp suất dưới 0,65%). Các thông số hệ HVAC được giám sát một cách trực tiếp, đầy đủ và chặt chẽ.

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.6725>

* Corresponding author. Email: domai071987@gmail.com

1. Giới thiệu

Hiện nay, cùng với sự phát triển của đời sống và khoa học kỹ thuật thì số lượng các tòa nhà cao tầng ở Việt Nam đã tăng lên nhanh chóng. Những tòa nhà này không chỉ được thiết kế hiện đại mà còn được trang bị nhiều phương tiện công nghệ cao. Từ những năm 1970, các quốc gia tiên tiến trên thế giới đã bắt đầu đưa vào các hệ thống quản lý tòa nhà BAS (Building Automation Systems). Cho đến nay hệ thống này đã phát triển mạnh và ứng dụng rất rộng rãi trên thế giới, song tại Việt Nam hệ thống quản lý tòa nhà cao tầng chỉ mới phát triển trong vài năm gần đây, mọi hoạt động quản lý tòa nhà đều được điều khiển bằng tay. Ước tính khoảng 80% ÷ 90% các tòa nhà ở Việt Nam hiện đang trong tình trạng này [1].

Thực tế cho thấy hệ thống BAS cho phép quản lý năng lượng tiết kiệm hơn. Có hơn 40% năng lượng sử dụng trong tòa nhà có thể được điều khiển bởi hệ thống BAS. Các thông số điều khiển trong tòa nhà có thể lên đến 70% nếu xem xét đến cả hệ thống chiếu sáng [2] – [4]. Trong đó các hệ thống sưởi, điều hoà thông gió HVAC chiếm khoảng 35-45% [4]. Việc điều khiển hệ thống điều hoà thông gió HVAC là cốt lõi của tự động hoá tòa nhà để nâng cao hiệu suất quản lý năng lượng, tạo môi trường làm việc thoải mái, ổn định nhiệt độ, độ ẩm, lọc không khí [4] – [5]. Cho đến nay, đã có nhiều phương pháp tiếp cận mô hình hoá hệ thống HVAC tuy nhiên phương pháp thực nghiệm kết hợp mô hình hoá mô phỏng điều khiển đối tượng cụ thể cho kết quả tối ưu hơn hết [5] – [9].

Nhằm mục đích phát triển các ứng dụng về quản lý tòa nhà tại Việt Nam, nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu và đưa ra giải pháp điều khiển, giám sát tòa nhà dựa trên đối tượng thực là tòa nhà PVI - Hà Nội, Việt Nam [10]. Dựa theo phương pháp mô hình hóa kết hợp thực nghiệm, các mô hình toán học đã được xây dựng và mô phỏng trên Matlab Simulink [11]. Kết quả điều khiển các thông số áp suất, lưu lượng được kiểm nghiệm thực tế trên chính đối tượng nghiên cứu. Việc thiết kế giải thuật điều khiển và giao diện giám sát được thực hiện trên phần mềm Andover Continuum của hãng Schneider Electric [12]. Toàn bộ nội dung về việc thiết kế, mô phỏng và đánh giá kết quả thực nghiệm được trình bày cụ thể tại các phần tiếp theo của bài báo này.

2. Hệ thống tự động hóa tòa nhà BAS và hệ HVAC

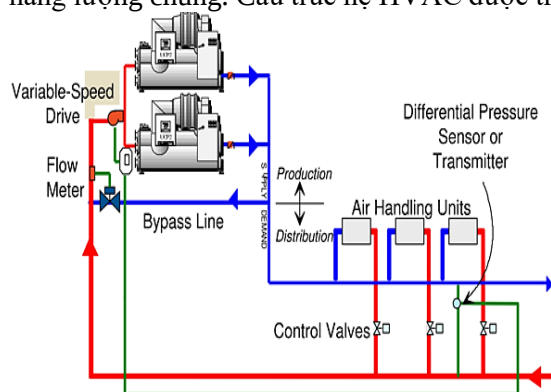
Chức năng của hệ thống tự động hóa tòa nhà BAS [1] thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Chức năng của hệ thống BAS

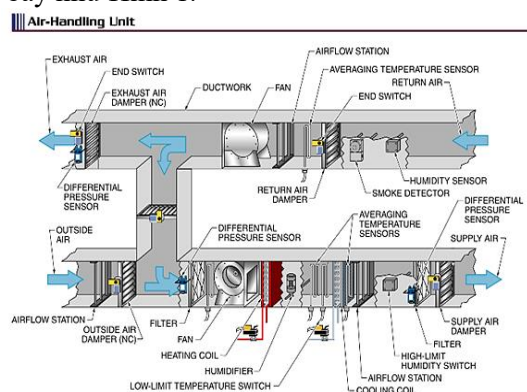
Hệ thống	Chức năng
Điều hoà thông gió (HVAC)	- Quản lý và điều khiển tất cả các thiết bị của hệ thống Chiller Plant (Chiller, bơm, van, Cooling tower), - Quản lý và điều khiển hệ thống điều hoà không khí AHU.
Điện	- Giám sát trạng thái của các máy biến áp, các tủ điện phân phối chính, các máy phát điện, toàn bộ hệ thống tủ phân phối chính các tầng. Giám sát điện năng tiêu thụ tòa nhà
Chiếu sáng	Quản lý và điều khiển chiếu sáng các khu vực công cộng, hành lang thang máy, nhà vệ sinh, khu vực tầng hầm
Quản lý vào ra và Camera an ninh CCTV	- Tích hợp với hệ điều khiển vào ra Access Control - Điều khiển camera theo tín hiệu điều khiển; quay quét camera, ghi camera theo tín hiệu điều khiển từ BAS
Hệ thống báo cháy	- Kết nối, giám sát hệ thống báo cháy và điều khiển hệ thống bơm nước chữa cháy của tòa nhà
Hệ thang máy	Giám sát trạng thái hoạt động, trạng thái lỗi quá tải của từng thang máy
Hệ cấp/thoát nước	- Quản lý và điều khiển hệ thống bơm cấp thoát nước. Giám sát mức nước các bể chứa (mức cao/thấp)
Bãi đỗ xe thông minh	Tích hợp quản lý bãi đỗ xe tự động kiểm soát xe vào ra, có liên kết với hệ thống camera giám sát và hệ thống kiểm soát vào ra.

Trong các hệ thống kể trên, hệ thống có mức độ phức tạp nhất đó là hệ thống điều hòa thông gió HVAC trong hệ BAS, đây cũng là đối tượng được tập trung nghiên cứu. Chúng ta sẽ phân tích các thành phần của hệ thống HVAC để tìm ra hướng điều khiển tối ưu.

HVAC (Heating, Ventilating, Air Conditioning hay Cooling): là hệ thống điều hòa thông gió, có nhiệm vụ giữ cho nhiệt độ trong tòa nhà luôn ổn định tại nhiệt độ đặt, đồng thời giữ được sự lưu thông của không khí trong tòa nhà nhằm ổn định các thông số như nồng độ CO₂, các chất độc hại... Hệ thống tiêu thụ nhiều năng lượng nhất chính là hệ thống điều hòa thông gió. Việc tiết kiệm năng lượng sử dụng trong hệ điều hòa thông gió có tác dụng rất lớn đối với việc tiết kiệm năng lượng chung. Cấu trúc hệ HVAC được trình bày như Hình 1.



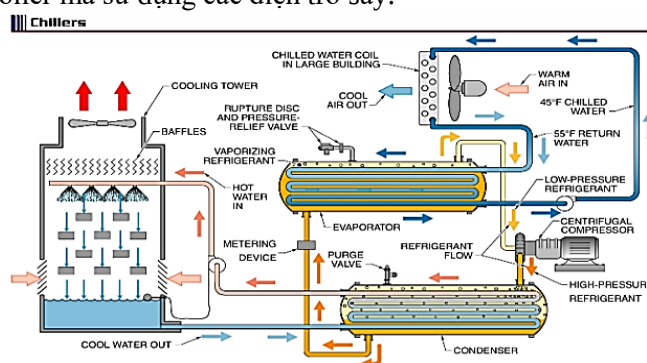
Hình 1. Cấu trúc hệ HVAC



Hình 2. Cấu trúc hệ AHU

Hệ thống gió (AHU -Air Handling Unit): được mô tả trong Hình 2. Không khí được thổi qua các dàn ống nóng hoặc lạnh (tùy theo nhiệt độ đặt và nhiệt độ không khí ngoài trời) rồi đưa vào các phòng làm nhiệm vụ ổn định nhiệt độ trong các phòng tùy theo giá trị đặt.

Hệ thống nước lạnh hay còn gọi là hệ Chiller plant: được mô tả như hình 3, có nhiệm vụ tạo ra nước lạnh đi đến hệ thống coil lạnh của các AHU, PAU, FCU. Với điều kiện các nước châu Âu, hệ thống boiler tạo hơi nước nóng đi đến các coil nóng, tuy nhiên với điều kiện của nước ta thì không sử dụng boiler mà sử dụng các điện trở sấy.



Hình 3. Cấu trúc hệ ChillerPlant

3. Giải pháp thiết kế hệ HVAC cho toà nhà PVI

3.1. Thiết kế hệ điều khiển ChillerPlant

Các đối tượng cần điều khiển ở đây bao gồm: Chiller, bơm nước lạnh, bơm giải nhiệt, tháp giải nhiệt.

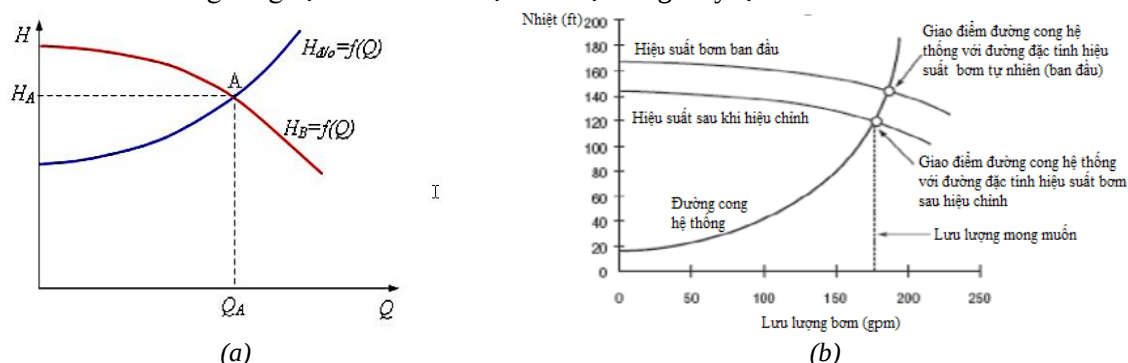
Điều khiển chiller dựa trên tải lạnh thực tế của tòa nhà, công thức tính tải lạnh như sau:

$$Q = G \times C_p \times \Delta t \text{ (kW lạnh)} \quad (1)$$

Trong đó: Q : công suất lạnh (kW); G : lưu lượng nước lạnh (l/h); C_p : nhiệt dung riêng của nước (kJ/kg.°C); Δt : chênh lệch nhiệt độ nước cấp và nước hồi (°C); $\Delta t = t_{\text{nước cấp}} - t_{\text{nước hồi}}$.

Hệ thống bơm nước giải nhiệt: Đảm bảo được lưu lượng nước giải nhiệt qua bình ngưng của chiller để đảm bảo được việc giải nhiệt cho chiller; Phối hợp điều khiển với tháp giải nhiệt để tăng hiệu suất làm việc hệ thống; Hệ thống nước giải nhiệt là hệ hở nên không cần điều khiển để duy trì áp hệ thống, với mỗi chiller hoạt động tương ứng là một bơm nước lạnh hoạt động.

Hệ thống bơm nước lạnh: Điều khiển lưu lượng nước tối thiểu qua hệ thống để đảm bảo điều kiện vận hành tối thiểu của chiller, tránh tình trạng chiller bị đóng băng. Đồng thời đảm bảo lưu lượng nước qua hệ thống coil lạnh đủ đáp ứng nhu cầu sử dụng của tòa nhà; Đảm bảo áp lực trong đường ống đủ đưa nước lên tầng cao nhất. Đặc biệt là hệ nước lạnh sử dụng là hệ kín, nếu áp suất tăng quá giới hạn sẽ gây hỏng bơm hoặc phá hủy đường ống nước; Trạng thái làm việc của hệ thống bơm có thể biểu diễn trên đồ thị lưu lượng - áp suất như Hình 4a. Chế độ làm việc xác lập là giao điểm của đường cong đặc tính bơm và đặc tính hệ thống thủy lực.



Hình 4. a) Chế độ xác lập của bơm, b) Đường đặc tính của bơm khi sử dụng biến tần

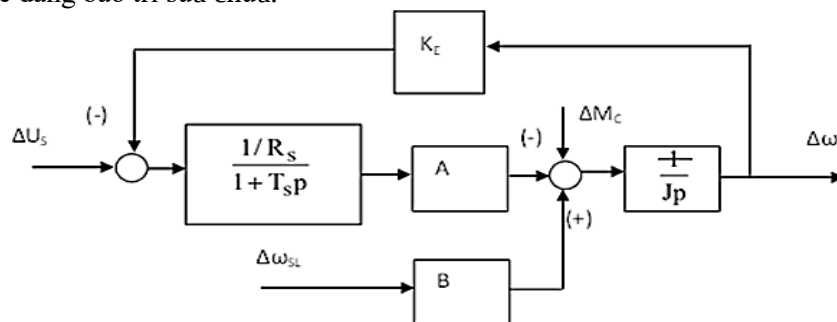
Ở bên trái giao điểm này, áp suất tạo ra bởi bơm lớn hơn áp suất cần thiết, lưu chất tăng vận tốc và lưu lượng tăng. Ở bên phải điểm làm việc, áp suất bơm tạo ra nhỏ hơn áp suất cần thiết lưu lượng giảm. Tại điểm làm việc, áp suất bơm cân bằng với áp suất hệ thống yêu cầu, lưu chất đạt đến vận tốc ổn định. Sử dụng biến tần để điều tiết lưu lượng, đặc tính bơm sẽ thay đổi và điểm làm việc sẽ dịch chuyển dọc theo đường đặc tính của hệ thống thủy lực như hình 4b.

Điều khiển tháp giải nhiệt

Nhiệm vụ chính của tháp giải nhiệt là giảm nhiệt độ của dòng nước đi qua bình ngưng của chiller dựa trên việc làm mát nhiệt tự nhiên của nước và bay hơi. Có hai cách điều chỉnh:

(1) - Sử dụng quạt tháp có điều chỉnh bằng biến tần. Giải pháp này cho phép điều khiển chính xác, tuy nhiên mức đầu tư cao.

(2) - Sử dụng nhiều quạt cho một tháp. Có thể chọn tháp có ba quạt, ta có năm đường đặc tính ứng với các chế độ khác nhau (Hình 5). Phương pháp này chỉ cho phép điều khiển có cấp, chưa phải tối ưu về sử dụng năng lượng. Tuy nhiên có ưu điểm là giá thành rẻ, thuật toán điều khiển đơn giản, dễ dàng bảo trì sửa chữa.



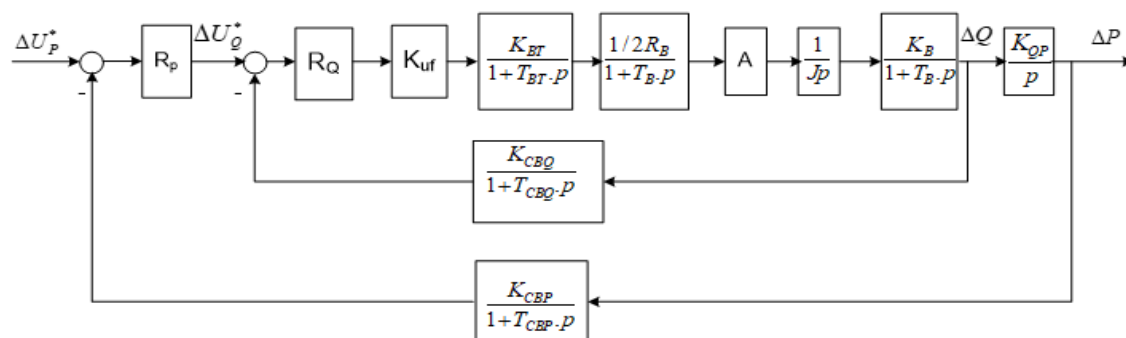
Hình 5. Sơ đồ cấu trúc mô hình động cơ

Trong đó: $\pm/Jp$ là cấu trúc chuyển đổi Momen sang tốc độ động cơ. A là bộ điều chỉnh. B là bộ khử nhiễu [10].

Thông thường hệ điều khiển công suất Chiller rất phức tạp và liên quan đến dòng môi chất lạnh nên ta không tìm hiểu kỹ về quá trình điều khiển mà chỉ tập trung chủ yếu vào việc đưa ra tín hiệu điều khiển hệ thống. Quá trình chủ yếu xét tới là việc điều khiển bơm nước lạnh để giữ lưu lượng và áp suất trong hệ thống.

3.2. Xây dựng bộ điều khiển bơm nước lạnh

Để đáp ứng yêu cầu công nghệ, bơm cần được điều khiển theo hai thông số là lưu lượng và áp suất. Tương ứng cần xây dựng sơ đồ điều khiển bơm gồm có hai mạch vòng điều chỉnh: Mạch vòng điều khiển lưu lượng và mạch vòng điều khiển áp lực (Hình 6).



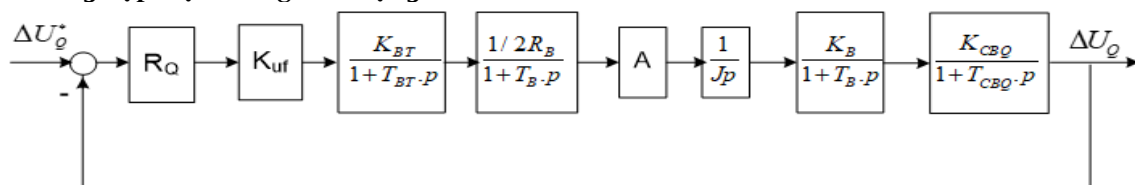
Hình 6. Sơ đồ cấu trúc điều khiển bơm

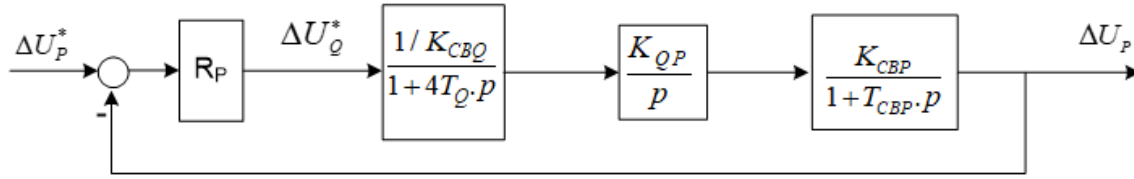
Kết quả mô hình hóa đối tượng và tính toán hàm truyền được thể hiện như trong Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 2. Mô hình các khâu trong hệ thống

TT	Đối tượng	Mô hình
1	Động cơ. Quan hệ dòng điện và điện áp stator	$U_s(p) = 2R_s(1 + T_s \cdot p) \cdot I_s(p) + E_s(p)$ Với $T_s = \frac{L_s}{R_s}$ là hằng số thời gian stator.
2	Biến tần	$W_{BD} = \frac{K_{BD}}{T_{BD} \cdot p + 1} = \frac{K_{BT}}{T_{BT} \cdot p + 1}$
3	Bơm	$W_B(p) = \frac{Q(p)}{\omega(p)} = \frac{K_B}{1 + T_B \cdot p}$
4	Khâu biến đổi lưu lượng	$W_{QP}(p) = \frac{p(p)}{Q_B(p) - Q_{it}(p)} = \frac{K_{QP}}{p}$
5	Khâu đo lưu lượng	$W_{CBQ} = \frac{K_{CBQ}}{T_{CBQ} \cdot p + 1}$
6	Khâu đo áp suất	$W_{CBP} = \frac{K_{CBP}}{T_{CBP} \cdot p + 1}$

Tổng hợp mạch vòng lưu lượng:

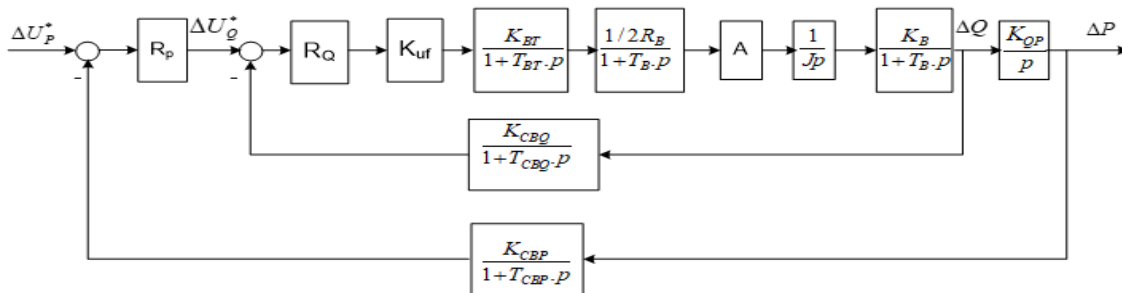


Tổng hợp mạch vòng áp suất:**Bảng 3. Hàm truyền đối tượng**

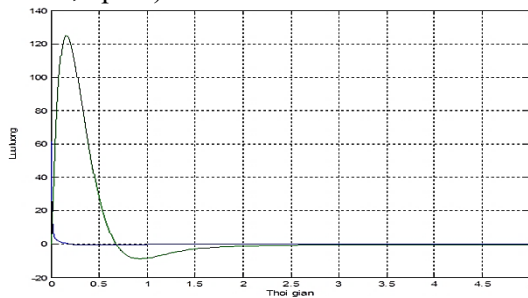
Đối tượng	Hàm truyền	Chú thích
Dạng tổng quát	$W_Q(p) = K_{uf} \frac{K_{BT}}{1 + T_{BT}p} \frac{1/2R_S}{1 + T_Sp} A \frac{1}{Jp} \frac{K_B}{1 + T_Bp} \frac{K_{CBQ}}{1 + T_{CBQ}p}$ (8)	Với:
Mạch vòng lưu lượng	Dạng sấp xi (gần đúng)	$W_Q(p) = \frac{K_Q}{(1 + T_Qp)p}$ (9)
	Sử dụng luật tối ưu đối xứng	$W_{RQ} = \frac{1 + 4T_Qp}{8K_QT_Qp}$ (10)
Mạch vòng điều chỉnh áp suất	$W_P(p) = \frac{1/K_{CBQ}}{1 + 4T_Qp} \frac{K_{QP}}{p} \frac{K_{CBP}}{1 + T_{CBP}p} = \frac{K_{DT}}{p(1 + 4T_Qp)(1 + T_{CBP}p)}$ (11)	$K_I = \frac{4T_Q + T_{CBP}}{8\tau_\delta^3 K_{DT}}$ $K_p = 4\tau_\delta K_{DT} \frac{4T_Q + T_{CBP}}{8\tau_\delta^3 K_{DT}}$ $K_d = \frac{8\tau_\delta^2 K_I K_{DT} - 1}{K_{DT}}$
Bộ điều khiển áp lực tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu đối xứng	$W_{RP} = \frac{4\tau_\delta p + 1}{8\tau_\delta^2 p^3 + 8\tau_\delta^2 p^2 + 4\tau_\delta p + 1}$ (12)	

3.3. Mô phỏng mạch vòng điều khiển và kết quả chạy thử nghiệm thực tế

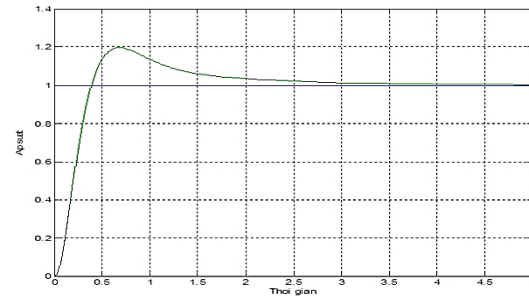
Sơ đồ cấu trúc điều khiển hệ thống được mô tả như hình 7.

**Hình 7. Sơ đồ cấu trúc điều khiển hệ thống**

Kết quả đo chênh lệch lưu lượng và áp suất được thể hiện như trong hình 8. Theo như kết quả mô phỏng toàn hệ thống có cả mạch vòng lưu lượng và mạch vòng áp lực, ta thấy đáp ứng hệ thống tốt, độ quá điều chỉnh và thời gian quá độ đều nằm trong giới hạn cho phép (thời gian điều chỉnh < 2,5 phút).



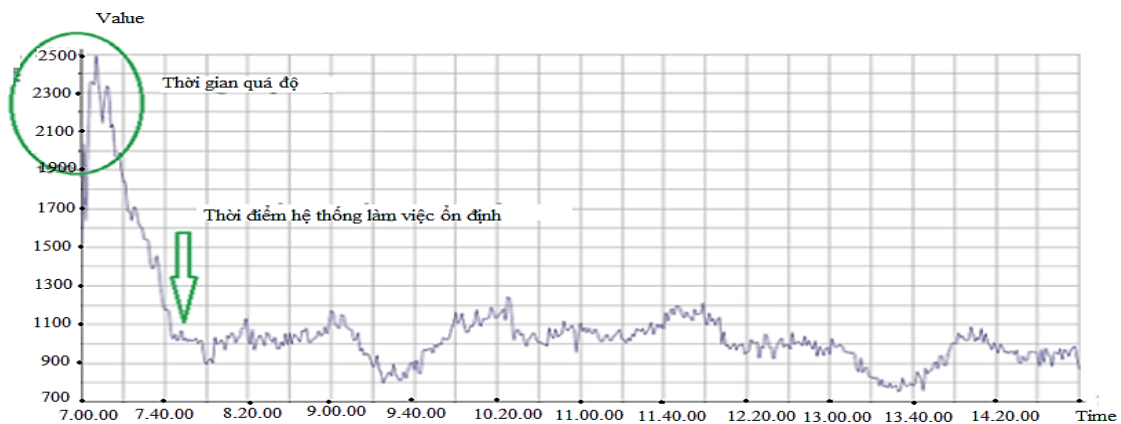
(a)



(b)

Hình 8. Kết quả đo được: (a) Đo lưu lượng, (b) Đo áp suất

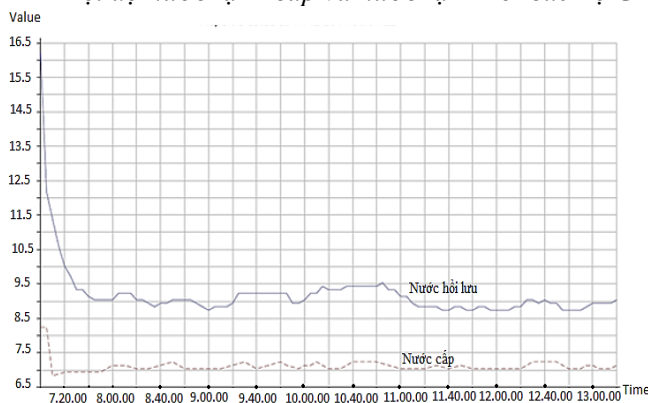
Kết quả thu được khi áp dụng điều khiển hệ thống tại tòa nhà PVI



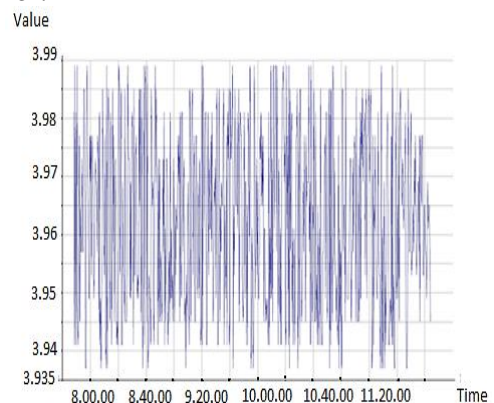
Hình 9. Đồ thị tải lạnh

Trên hình 9 báo cáo tải lạnh (với trục x là giờ làm việc theo mốc 24h, trục y là giá trị tải lạnh Btu) được lấy từ kết quả thực nghiệm của nhóm tại Tòa nhà PVI. Vào thời điểm bắt đầu khởi động hệ thống, 7h00 sáng, tải lạnh đạt giá trị cao nhất. Đến 7h40 hệ thống làm việc ổn định, một số diện tích đã đủ lạnh nên lượng tải lạnh được giảm đi và duy trì. Lượng nhiệt được duy trì để bù lại phần nhiệt lượng bị hao tổn trong quá trình làm việc.

Nhiệt độ nước lạnh cấp và nước lạnh hồi của hệ Chiller:



Hình 10. Nhiệt độ nước lạnh cấp và nước lạnh hồi lưu



Hình 11. Áp suất trong hệ thống

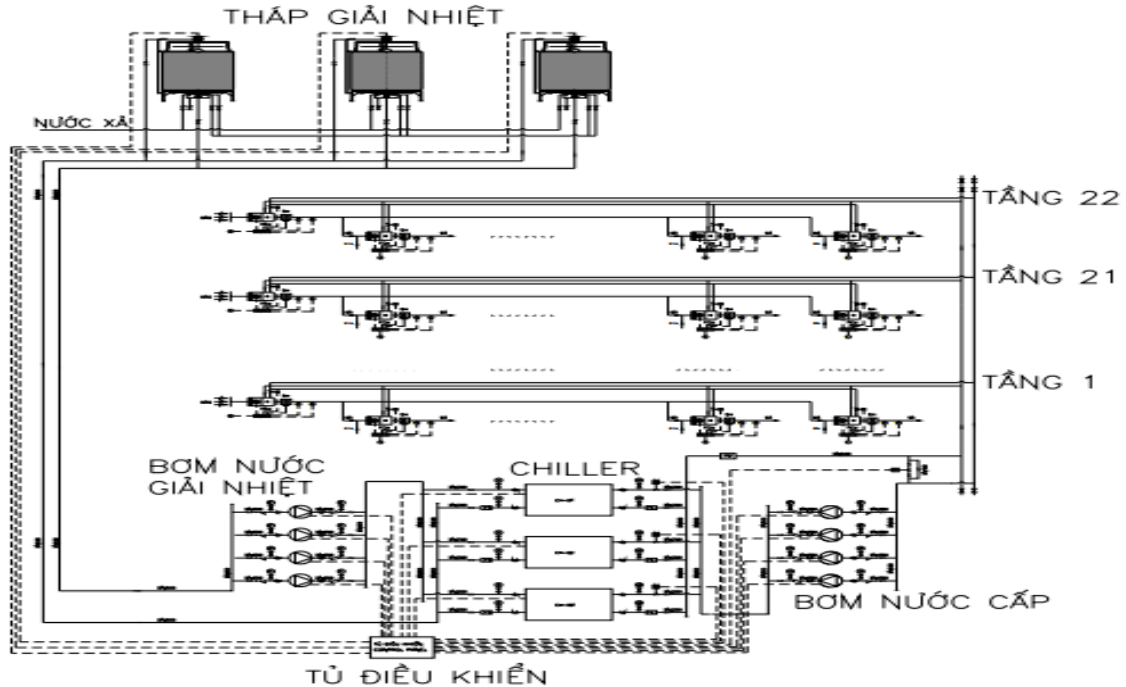
Biểu đồ về nhiệt độ cấp và nhiệt độ hồi của Chiller (Hình 10, với trục x là giờ làm việc theo mốc 24h, trục y là giá trị nhiệt độ - độ C) được lấy từ kết quả thực nghiệm của nhóm tại Tòa nhà PVI thể hiện đúng với tải lạnh của tòa nhà. Do thời điểm ban đầu nhiệt độ trong hệ thống cao ứng với tải lớn, sau khi hoạt động đến khoảng 7h40 thì nhiệt độ đầu vào và nhiệt độ đầu ra được điều khiển đạt tới điểm ổn định.

Trong trạng thái xác lập, có xuất hiện nhiễu tải do tải lạnh thực tế thay đổi theo nhu cầu người sử dụng, hệ thống điều khiển đã làm tốt nhiệm vụ điều chỉnh hệ thống, chống lại sự thay đổi của nhiễu tải, duy trì nước lạnh cấp ở nhiệt độ ổn định. Nhiệt độ nước cấp (đường nét đứt) khi xác lập đạt 7°C (sai lệch dưới 0,3°C).

Áp suất trong hệ thống: Áp suất (Hình 11, với trục x là giờ làm việc theo mốc 24h, trục y là giá trị áp suất trong đường ống - Bar) được lấy từ kết quả thực nghiệm của nhóm tại Tòa nhà PVI được giữ ổn định và trong giới hạn cho phép với sai số 0,65%.

3.4. Xây dựng giao diện điều khiển (HMI) sử dụng phần mềm Andover Continuum của hãng Schneider Electric

Cấu trúc tổng quan của toàn hệ thống điều khiển HVAC được mô tả ở hình 12.

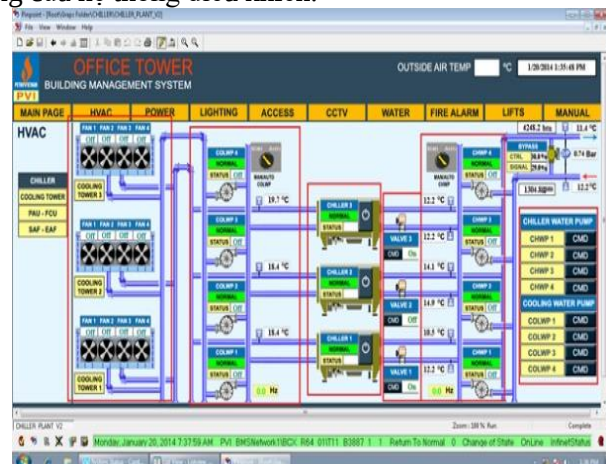


Hình 12. Cấu trúc tổng quan hệ thống HVAC

Giao diện điều khiển giám sát hệ thống (Hình 13, Hình 14, Hình 15) được xây dựng dựa trên phần mềm chuyên dụng “Andover Continuum version 1.94” - đây là một phần mềm được xây dựng chuyên biệt để phục vụ lập trình hệ thống BAS sử dụng các bộ điều khiển của hãng Schneider. Nhóm nghiên cứu cùng tham gia quá trình hình thành giao diện người dùng (HMI) và triển khai thực tế tại Tòa nhà PVI, giao diện cho phép hiển thị các thông số tức thời của hệ thống, cho phép điều chỉnh trực tiếp trên giao diện. Hiện giao diện vẫn đang được ứng dụng tại tòa nhà PVI và giúp nâng cao hiệu quả sử dụng của hệ thống điều khiển.



Hình 13. Giao diện chính của hệ BAS



Hình 14. Giao diện điều khiển, giám sát hoạt động hệ HVAC



Hình 15. Giao diện điều khiển hệ thống AHU trên từng tầng

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, một giải pháp điều khiển và giám sát toà nhà (hệ HVAC) đã được thực hiện, từ việc nghiên cứu, phân tích đối tượng, xây dựng mô hình đặc tính, mô hình toán học, lập trình điều khiển và thiết kế giao diện giám sát trên phần mềm chuyên dụng của Schneider. Bằng phương pháp lý thuyết kết hợp với thực nghiệm, kết quả mô hình lý thuyết đã được kiểm chứng trên đối tượng thực. Vấn đề điều khiển các thông số cơ bản của hệ HVAC đã thu được kết quả tốt, hệ thống chạy ổn định với sai số chất lượng hệ thống đáp ứng yêu cầu. Kết quả của nghiên cứu có thể làm tài liệu tham khảo trong việc thiết kế và xây dựng các giải pháp tự động hoá toà nhà ứng dụng đối với nhiều đối tượng khác nhau trong thực tế.

Trong tương lai, nhóm sẽ tiếp tục nghiên cứu tích hợp thêm các vòng điều khiển nhiệt độ, chiếu sáng, thông gió nhằm hoàn thiện và nâng cao hiệu quả, và tính ứng dụng của giải pháp thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] K. Linh, "The future of automation in buildings," *Vietnam Automation Today*, vol. 107, August 2009. [Online]. Available: <https://vnautomate.net/tuong-lai-cua-tu-dong-hoa-trong-cac-toa-nha.html>. [Accessed Sep. 25, 2022].
- [2] Q. V. Tran, M. T. Pham, and P. M. Duong, "Controlling Communication Network in the Building Automation System," (in Vietnamese), *HNU Journal of Science*, vol. 26, pp. 129-140, 2010.
- [3] A. Berouine, R. Ouladsine, M. Bakhouya, and M. Essaaidi, "A predictive control approach for thermal energy management in buildings," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 9127-9141, 2022.
- [4] D. Westphalen and S. Koszalinski, *Energy Consumption Characteristics of Commercial Building HVAC Systems*. Arthur D. Little, Inc, 2001.
- [5] Z. Afroz, G. M. Shafiullah, T. Urme, and G. Higgins, "Modeling techniques used in building HVAC control systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 83, pp. 64-84, 2018.
- [6] M. Esrafilian and F. Haghighat, "Occupancy-based HVAC control using deep learning algorithms for estimating online preconditioning time in residential buildings," *Energy and Buildings*, vol. 252, Dec. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111377>. [Accessed Sep. 20, 2022].
- [7] Y. Lin, P. Barooah, S. Meyn, and T. Middelkoop, "Experimental Evaluation of Frequency Regulation From Commercial Building HVAC Systems," *IEEE*, vol. 6, no. 2, pp. 776-783, 2015.
- [8] R. Z. Homod and M. Benghanem, "Review on the HVAC System Modeling Types and the Shortcomings of Their Application," *Review Article*, vol. 2013. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1155/2013/768632>. [Accessed Sep. 10, 2022].
- [9] A. Afram and F. Janabi-Sharifi, "Supervisory model predictive controller (MPC) for residential HVAC systems: Implementation and experimentation on archetype sustainable house in Toronto," *Energy and Buildings*, vol. 154, pp. 268-282, 2017.
- [10] PVI Building, *List power of air-condition of PVI tower*, Technology Lab, 2018.
- [11] P. Q. Nguyen, *Matlab & Simulink for automatic control engineers*. Science and Engineering Publishing House, 2006.
- [12] Rec. J. Modicon, Inc, *Modicon Modbus Protocol Reference Guide PI-MBUS-300*, Schneider Automation, 1996.