



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0026505

(51)⁷ F02C 9/00

(13) B

(21) 1-2018-04773

(22) 25/10/2018

(45) 25/11/2020 392

(43) 25/01/2019 370A

(73) Tập đoàn Công nghiệp - Viễn thông Quân Đội (VN)

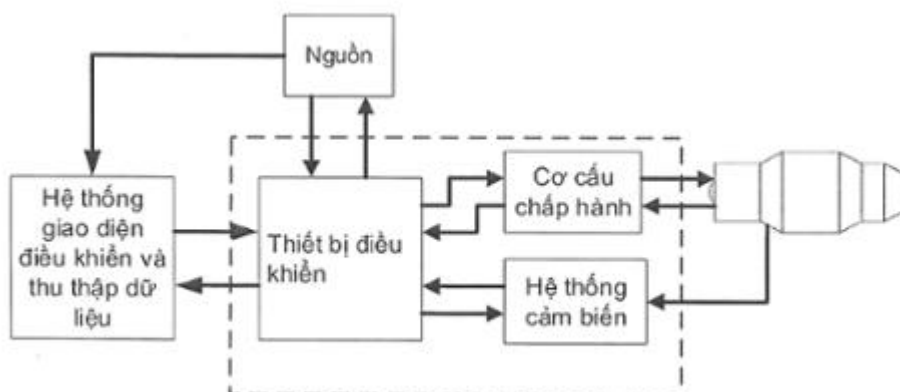
Số 1 đường Trần Hữu Dực, phường Mỹ Đình 2, quận Nam Từ Liêm, thành phố Hà Nội

(72) BÙI VĂN SƠN (VN); NGUYỄN PHI MINH (VN); NGUYỄN HUY HOÀNG (VN);
PHẠM HOÀNG SƠN (VN); NGUYỄN QUANG KHOA (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACI CO., LTD)

(54) HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ PHẢN LỰC HÀNG KHÔNG

(57) Sáng chế đề xuất hệ thống điều khiển động cơ phản lực hàng không 20-25 Kg lực đẩy bao gồm thành phần: thiết bị điều khiển; cơ cấu chấp hành; hệ thống giao diện điều khiển và thu thập dữ liệu; hệ thống cảm biến. Hệ thống có chức năng điều khiển động cơ phản lực theo yêu cầu đề ra, chủ động trong việc thử nghiệm, phương án khởi động và thu thập dữ liệu hoạt động của động cơ.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến lĩnh vực động cơ phản lực hàng không. Cụ thể, sáng chế đề xuất hệ thống điều khiển động cơ phản lực hàng không lực đẩy cho động cơ phản lực loại nhỏ.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong các tài liệu sáng chế đã được công bố, một số công trình có nội dung liên quan đến thiết kế bộ điều khiển cho động cơ phản lực. Có thể điểm qua các một số các sáng chế đã công bố như sau:

Sáng chế số 6434473 ngày 13/08/2002 của Hoa Kỳ về Hệ thống điều khiển cho động cơ phản lực. Trong nội dung văn bản, tác giả trình bày một hệ thống bao gồm bộ điều khiển điện tử (ECU) gửi các lệnh điều khiển bộ phận điều tiết nhiên liệu. Nhiên liệu vào động cơ được cấp từ một van điều chỉnh bằng vị trí của van tiết lưu mà lại được dẫn động bằng một động cơ điện. Nhược điểm của hệ thống này là đối với động cơ phản lực loại nhỏ (lực đẩy xấp xỉ 250 N), do lưu lượng nhiên liệu cần thay đổi những lượng rất nhỏ nên van tiết lưu khó có thể điều tiết chính xác lưu lượng nhiên liệu. Ngoài ra, việc sử dụng van tiết lưu được điều chỉnh vị trí bằng động cơ điện khiến cho hệ thống trở nên cồng kềnh, kém chính xác, không phù hợp với động cơ phản lực cỡ nhỏ.

Sáng chế số 102852647 ngày 28/09/2012 của Trung Quốc về Hệ thống và phương pháp điều khiển động cơ phản lực cỡ nhỏ. Trong nội dung sáng chế, tác giả trình bày một hệ thống bao gồm mạch điều khiển, hệ thống cấp khí propane dùng để khởi động động cơ, hệ thống nhiên liệu hàng không dầu lửa. Nhược điểm của hệ thống này là nó sử dụng một hệ thống khí propane để khởi động. Điều này rất nguy hiểm do propane là chất khí dễ gây cháy nổ, không an toàn như nhiên liệu hàng không (chỉ cháy tại tỷ số nén phù hợp và có dạng sương). Ngoài ra việc sử dụng bình khí propane và các van phụ trợ khiến cho hệ thống phức tạp và cồng kềnh, chưa phù hợp cho các ứng dụng dùng động cơ phản lực loại nhỏ

Để khắc phục những hạn chế trên, sáng chế đề xuất hệ thống điều khiển động cơ phản lực hàng không loại nhỏ có sử dụng kết hợp một thiết bị điều khiển động cơ, hai van điện từ đóng mở đơn giản cho các đường khởi động và đường nhiên liệu chính

của động cơ. Lưu lượng nhiên liệu được điều chỉnh qua tốc độ quay của bơm bánh răng giúp hệ thống đơn giản, nhỏ gọn, chính xác.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất hệ thống điều khiển động cơ phản lực hàng không lực đẩy 20-25 Kg nhằm chủ động mọi quá trình hoạt động của động cơ, đồng thời thu thập đầy đủ dữ liệu hoạt động của động cơ. Hệ thống được đề xuất có chức năng điều khiển động cơ phản lực theo yêu cầu đề ra, chủ động trong việc thử nghiệm, phương án khởi động và thu thập dữ liệu hoạt động của động cơ. Đồng thời, đảm bảo cho hệ động cơ phản lực duy trì trạng thái hoạt động ở mức an toàn.

Để đạt được mục đích nêu trên, sáng chế đề xuất hệ thống điều khiển động cơ phản lực hàng không bao gồm:

- Thành phần thứ nhất là thiết bị điều khiển động cơ, bao gồm:
 - Vi điều khiển ARM 32 bit STM32F4VGTX hoặc các vi điều khiển tương tự, có chức năng thu thập dữ liệu và xuất xung điều khiển theo thuật toán điều khiển;
 - Các môđun vận hành điều khiển bơm bánh răng, động cơ khởi động, thiết bị đánh lửa;
 - Môđun nguồn;
 - Phần mềm nhúng quy trình hoạt động vào vi điều khiển;
- Thành phần thứ hai là cơ cấu chấp hành bao gồm bơm bánh răng sử dụng động cơ điện một chiều, hệ thống van điện từ dùng để đóng ngắt nhiên liệu.
- Thành phần thứ ba là hệ thống cảm biến bao gồm ít nhất hai loại cảm biến: cảm biến tốc độ vòng quay và cảm biến nhiệt độ.
- Thành phần thứ tư là hệ thống giao diện điều khiển và thu thập dữ liệu.

Quy trình khởi động, thuật toán điều khiển động cơ phản lực hàng không được nghiên cứu, thử nghiệm, sau đó lập trình nhúng vào vi điều khiển. Thiết bị điều khiển động cơ thực thi các lệnh đưa ra từ hệ thống giao diện điều khiển, đồng thời gửi dữ liệu thu thập về hệ thống thu thập dữ liệu.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: Sơ đồ tổng quát hệ thống điều khiển động cơ phản lực;

Hình 2: Các giai đoạn hoạt động động cơ phản lực;

Hình 3: Phối trí 3D phần cứng Hệ thống điều khiển động cơ phản lực.

Mô tả chi tiết sáng chế

Phần sau đây mô tả rõ ràng và đầy đủ hệ thống điều khiển tự động cho động cơ phản lực dựa vào các hình vẽ kèm theo. Phần mô tả sau đây của phương án chỉ là ví dụ mà không phải là tất cả phương án có thể của sáng chế. Các sửa đổi và biến thể khác nhau của sáng chế mà không có bất kỳ nỗ lực sáng tạo nào của người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực sẽ nằm trong phạm vi bảo hộ của sáng chế.

Tham chiếu hình 1, hệ thống điều khiển tự động cho động cơ phản lực bao gồm bốn thành phần chính:

- Thiết bị điều khiển động cơ;
- Cơ cấu chấp hành;
- Hệ thống cảm biến;
- Hệ thống giao diện điều khiển và thu thập dữ liệu;

Tại mỗi thành phần, cấu tạo chi tiết như được mô tả sau đây:

Hệ thống giao diện điều khiển là phần mềm được lập trình trên nền tảng công cụ lập trình (Visual Studio), sử dụng ngôn ngữ C#, được cài đặt trên máy tính giao tiếp với thiết bị điều khiển động cơ qua giao thức RS485 sử dụng môđun chuyển đổi USB-RS485.

Hệ thống giao diện điều khiển và thu thập dữ liệu gồm hai khối con tạo thành: Hệ thống giao diện điều khiển và Hệ thống thu thập dữ liệu, trong đó:

Hệ thống giao diện điều khiển có nhiệm vụ xuất tín hiệu điều khiển cho thiết bị điều khiển động cơ, các lệnh đã được đóng gói theo bản tin quy ước.

Cụ thể, hệ thống giao diện điều khiển chuyển lệnh điều khiển thành các gói dữ liệu theo bản tin 14 bit đã quy định (gồm 3 bit đầu, 8 bit giá trị, 3 bit cuối).

Các lệnh điều khiển do yêu cầu người dùng, và tùy thuộc mỗi lần vận hành, bao gồm các lệnh kiểm tra riêng phần bơm, van, động cơ khởi động, đánh lửa; các lệnh trong chu trình hoạt động; lệnh tắt khẩn cấp; lệnh làm mát động cơ; lệnh cập nhật tham số điều khiển.

Hệ thống thu thập dữ liệu tiến hành nhận các dữ liệu từ thiết bị điều khiển động cơ, tổng hợp vào bộ nhớ và hiển thị ra màn hình.

Hệ thống thu thập dữ liệu là hệ thống phần cứng và phần mềm trên thiết bị điều khiển động cơ. Vi điều khiển sẽ gửi dữ liệu vào bộ nhớ flash 64 Megabit, đồng thời vi

điều khiển gửi qua giao tiếp RS485 để hiển thị ra màn hình thông qua hệ thống giao diện điều khiển. Dữ liệu được đóng gói theo bản tin 11 bit, trong đó 3 bit đầu, 4 bit dữ liệu cảm biến vòng quay, 2 bit dữ liệu cảm biến nhiệt độ, và 2 bit giá trị điện áp cấp ra bơm.

Hệ thống cảm biến bao gồm ít nhất hai loại cảm biến:

- Cảm biến tốc độ vòng quay;
- Cảm biến nhiệt độ.

Hệ thống cảm biến có tác dụng đo các tín hiệu vật lý của động cơ và môi trường, chuyển đổi thành tín hiệu điện và gửi các tín hiệu đến Thiết bị điều khiển động cơ. Hệ thống điều khiển động cơ phản lực sử dụng ít nhất nhưng không hạn chế hai cảm biến nêu trên.

Trong đó, để đo tốc độ vòng quay sử dụng cảm biến tiệm cận loại cảm ứng từ, đáp ứng yêu cầu khắc nghiệt về nhiệt độ, rung sóc và độ nhiễu trong động cơ. Tín hiệu thô trả về từ cảm biến tiệm cận sẽ thay đổi theo tốc độ quay. Tốc độ quay càng lớn thì biên độ của tín hiệu càng giảm, cho nên không thể xử lý trực tiếp từ vi điều khiển. Tín hiệu thô nhận được từ cảm biến tiệm cận sẽ được truyền qua một mô đun đã thiết kế trong mạch điều khiển để biến đổi tín hiệu, thuận tiện xử lý trong vi điều khiển. Mô đun này có nhiệm vụ đưa tín hiệu thô của cảm biến tiệm cận về xung vuông và có thành phần cách ly chống nhiễu.

Cảm biến nhiệt độ dùng loại cặp nhiệt điện loại K cùng mô đun cảm biến nhiệt độ (MAX6675). Cặp nhiệt điện là một thiết bị cảm biến nhiệt mạch kín bao gồm hai dây kim loại khác nhau được nối lại ở cả hai đầu. Một dòng điện được tạo ra khi nhiệt độ ở một đầu khác với nhiệt độ ở đầu còn lại. Hiện tượng này gọi là hiệu ứng Seebeck, đây là cơ sở để đo nhiệt độ của cặp nhiệt điện. Mô đun MAX6675 được tích hợp điểm tham chiếu nhiệt và bộ ADC 12bit độ nhạy cao, khuếch đại tín hiệu trước khi có thể lấy giá trị vào vi điều khiển. Mô đun MAX6675 giao tiếp dễ dàng với vi điều khiển với chuẩn SPI thông dụng.

Cơ cấu chấp hành nhận tín hiệu điều khiển từ thiết bị điều khiển động cơ và biến đổi thành các tín hiệu cấp cho các cơ cấu của động cơ phản lực. Cơ cấu chấp hành bao gồm:

- Động cơ khởi động;
- Động cơ bánh răng bơm nhiên liệu;

- Thiết bị đánh lửa;
- Hệ thống van điện từ.

Trong đó động cơ khởi động là động cơ một chiều chổi than, dùng để tạo đà cho rôto của động cơ phản lực, đồng thời thông qua bộ phận nén khí, cung cấp áp suất cần thiết ban đầu trong buồng đốt để nâng cao hiệu suất đốt nhiên liệu. Động cơ khởi động kết nối với trục quay chính qua khớp từ, khi bắt đầu khởi động khớp từ nối lại truyền chuyển động quay, tới vòng quay cần thiết cần ngắt kết nối để tránh hiện tượng phát điện xảy ra, cản chuyển động quay.

Động cơ bánh răng bơm nhiên liệu là động cơ một chiều, chổi than, có ưu điểm là dễ điều khiển, được điều khiển bằng cách điều chế xung PWM từ vi điều khiển thông qua drive và mạch công suất. PWM là tín hiệu điều khiển duy nhất để quản lý tốc độ quay của rôto động cơ khi tần số điều chế xung PWM cố định. Để khởi động thành công cần điều khiển hiệu điện thế đầu vào của bơm nhiên liệu theo tính chất khí động, động học của động cơ để động cơ đạt đến trạng thái tự duy trì. Động cơ bánh răng bơm nhiên liệu có tác dụng điều khiển hoạt động của van nhiên liệu, cụ thể lưu lượng nhiên liệu được điều chỉnh qua tốc độ quay của bơm bánh răng.

Thiết bị đánh lửa dạng điện trở dây đốt, được đóng ngắt thông qua mạch công suất sử dụng Transistor hiệu ứng trường Oxit Kim loại - Bán dẫn (mosfet). Quá trình đốt nóng được diễn ra trước khi bơm nhiên liệu, đảm bảo nhiệt độ cần thiết khi cấp nhiên liệu vào buồng đốt. Sau khi nhiên liệu cháy thì ngắt kết nối đốt nóng để tránh hao phí điện và giữ nhiệt độ phù hợp theo tính chất động cơ. Vi điều khiển được lập trình quy trình khởi động, cấp lệnh bật tắt và điều khiển cường độ dòng điện đốt nóng thông qua mạch công suất.

Hệ thống van điện từ bao gồm một van đánh lửa và một van nhiên liệu chính. Van đánh lửa có tác dụng mở lửa ban đầu, sau khi có sự cháy cần thiết trong buồng đốt thì cấp van nhiên liệu chính để tăng tốc động cơ phản lực. Bộ điều khiển đóng ngắt 2 van điện từ theo thời gian thực đã định trước, thông qua các khóa Transistor.

Thiết bị điều khiển động cơ có nhiệm vụ điều khiển tất cả các thiết bị cơ cấu chấp hành và xử lý tín hiệu từ các tín hiệu cảm biến. Thiết bị điều khiển động cơ còn chứa bộ nhớ ngoài có thể ghi dữ liệu động cơ trong suốt thời gian hoạt động và đọc dữ liệu sau khi động cơ dừng theo các lệnh được cấp. Ngoài ra thiết bị điều khiển động cơ còn có nhiệm vụ đảm bảo an toàn, về dòng điện, điện áp, và nhiệt độ.

Để thực hiện những chức năng đó, thiết bị điều khiển động cơ có các bộ phận sau:

- Vi điều khiển ARM 32 bit STM32F4VGTX;
- Các môđun vận hành điều khiển bơm bánh răng, động cơ khởi động, thiết bị đánh lửa, trong đó các môđun vận hành công suất, có chức năng khuếch đại tín hiệu điều khiển sang tín hiệu công suất để điều khiển;
- Môđun nguồn;
- Phần mềm nhúng quy trình hoạt động vào vi điều khiển;

Tham chiếu hình 2, thiết bị điều khiển động cơ tự động điều khiển động cơ với một quy trình được lập trình sẵn theo các giai đoạn sau:

- Giai đoạn khởi động;
- Giai đoạn đốt nóng;
- Giai đoạn chuyển tiếp;
- Giai đoạn hoạt động chính;
- Giai đoạn phục hồi;
- Giai đoạn tắt.

Quy trình trong giai đoạn khởi động là thiết bị điều khiển động cơ cấp xung PWM điều khiển động cơ khởi động, tăng tốc động cơ từ trạng thái tĩnh.

Trong giai đoạn đốt nóng, thiết bị điều khiển động cơ cấp lệnh bật tắt cho thiết bị đánh lửa vào các thời điểm đã được lập trình.

Giai đoạn chuyển tiếp sau khi đánh lửa thành công. Động cơ tiếp tục được tăng tốc khi nhiên liệu được đốt cháy trong buồng đốt. Trong giai đoạn này, đặc biệt là khi bắt đầu, động cơ vẫn chưa tự duy trì và thiết bị điều khiển động cơ vẫn tiếp tục cấp PWM cho bơm nhiên liệu tăng tốc độ quay của động cơ phản lực lên chế độ idle định sẵn. Chế độ idle là chế độ động cơ phản lực có thể ổn định hoạt động với mức nhiên liệu cung cấp cố định, có thể tăng tốc khi cấp thêm nhiên liệu cần thiết. Nhiệm vụ chính của giai đoạn chuyển tiếp xác định cách tăng tốc cho động cơ và thời điểm thiết bị khởi động và đánh lửa sẽ tắt.

Giai đoạn hoạt động là giai đoạn động cơ đạt đã được đưa lên tốc độ cần thiết, đạt được lực đẩy mong muốn. Thông thường, lực đẩy khó khăn để đo trực tiếp từ động cơ vì thế vận tốc quay của động cơ được đo trực tiếp bằng cảm biến tốc độ vòng quay của động cơ. Mối quan hệ giữa lực đẩy và tốc độ quay là tỷ lệ thuận, vì vậy có thể sử

dụng để chuyển từ lực đẩy mong muốn sang vận tốc góc mong muốn của trục. Như vậy, vi điều khiển thực hiện chức năng điều khiển vận tốc góc bằng cách xuất xung điều khiển cho bơm, đồng thời đảm bảo an toàn cho thiết bị dựa trên nhiệt độ thu thập được.

Giai đoạn phục hồi được kích hoạt nếu vượt quá giá trị giới hạn của nhiệt độ. Thiết bị điều khiển động cơ sẽ đưa ra các lệnh xử lý khi gặp các vấn đề mất an toàn (ví dụ khi nhiệt độ vượt quá 800 độ sẽ tắt khẩn cấp). Nhiệt độ giới hạn được xác định qua quá trình thử nghiệm động cơ phản lực.

Động cơ có thể tắt bất kỳ thời điểm nào, nhưng sẽ tốt nhất khi tắt động cơ ở vận tốc thấp và nhiệt độ thấp. Nhiệm vụ của giai đoạn kết thúc là hoàn thành quy trình các lệnh để điều khiển tắt an toàn động cơ. Quy trình tắt an toàn bao gồm ngừng cấp xung điều khiển bơm nhiên liệu, tắt van điện từ, tắt thiết bị đánh lửa, tắt động cơ khởi động.

Yêu cầu bảo hộ

1. Hệ thống điều khiển động cơ phản lực hàng không bao gồm:

thiết bị điều khiển động cơ, bao gồm vi điều khiển ARM 32 bit STM32F4VGTX, có chức năng thu thập dữ liệu và xuất xung điều khiển theo thuật toán điều khiển; các môđun vận hành điều khiển bơm bánh răng, động cơ khởi động, thiết bị đánh lửa; môđun nguồn; phần mềm nhúng quy trình hoạt động vào vi điều khiển;

cơ cấu chấp hành bao gồm bơm bánh răng sử dụng động cơ điện một chiều, hệ thống van điện từ dùng để đóng ngắt nhiên liệu; thực hiện nhận tín hiệu điều khiển từ thiết bị điều khiển động cơ và biến đổi thành các tín hiệu cấp cho các cơ cấu của động cơ phản lực;

hệ thống cảm biến bao gồm ít nhất hai loại cảm biến: cảm biến tốc độ vòng quay và cảm biến nhiệt độ;

hệ thống giao diện điều khiển và thu thập dữ liệu.

2. Hệ thống điều khiển động cơ phản lực hàng không theo điểm 1, hệ thống giao diện điều khiển và thu thập dữ liệu gồm hai khối con tạo thành: hệ thống giao diện điều khiển và hệ thống thu thập dữ liệu, trong đó:

hệ thống giao diện điều khiển chuyển lệnh điều khiển thành các gói dữ liệu theo bản tin 14 bit đã quy định;

hệ thống thu thập dữ liệu tiến hành nhận các dữ liệu từ thiết bị điều khiển động cơ, tổng hợp vào bộ nhớ và hiển thị ra màn hình.

3. Hệ thống điều khiển động cơ phản lực hàng không theo điểm 1, trong đó tại hệ thống cảm biến

cảm biến tốc độ vòng quay để đo tốc độ vòng quay sử dụng cảm biến tiệm cận loại cảm ứng từ; tín hiệu thô trả về từ cảm biến tiệm cận sẽ thay đổi theo tốc độ quay; tín hiệu thô nhận được từ cảm biến tiệm cận sẽ được truyền qua một môđun đã thiết kế trong mạch điều khiển để biến đổi tín hiệu, thuận tiện xử lý trong vi điều khiển và được đưa về xung vuông và có thành phần cách ly chống nhiễu;

cảm biến nhiệt độ dùng loại cặp nhiệt điện loại K cùng môđun cảm biến nhiệt độ (MAX6675), được tích hợp điểm tham chiếu nhiệt và bộ ADC 12bit độ nhạy cao, khuếch đại tín hiệu trước khi có thể lấy giá trị vào vi điều khiển.

4. Hệ thống điều khiển động cơ phản lực hàng không theo điểm 1, trong đó tại động cơ khởi động thuộc cơ cấu chấp hành: động cơ khởi động là động cơ một chiều chổi than và được kết nối với trục quay chính qua khớp từ, khi bắt đầu khởi động khớp từ nối lại truyền chuyển động quay, tới vòng quay cần thiết cần ngắt kết nối để tránh hiện tượng phát điện xảy ra, cản chuyển động quay.

5. Hệ thống điều khiển động cơ phản lực hàng không theo điểm 1, trong đó tại động cơ bánh răng bơm nhiên liệu thuộc cơ cấu chấp hành: động cơ bánh răng bơm nhiên liệu là động cơ một chiều, chổi than; động cơ được điều khiển bằng cách điều chế xung PWM từ vi điều khiển thông qua drive và mạch công suất;

để khởi động thành công cần điều khiển hiệu điện thế đầu vào của bơm nhiên liệu theo tính chất khí động, động học của động cơ để động cơ đạt đến trạng thái tự duy trì.

6. Hệ thống điều khiển động cơ phản lực hàng không theo điểm 1, trong đó tại cơ cấu chấp hành thiết bị đánh lửa dạng điện trở dây đốt, được đóng ngắt thông qua mạch công suất sử dụng mosfet.

7. Hệ thống điều khiển động cơ phản lực hàng không theo điểm 1, trong đó tại hệ thống van điện từ thuộc cơ cấu chấp hành, van đánh lửa có tác dụng mỗi lửa ban đầu, sau khi có sự cháy cần thiết trong buồng đốt thì cấp van nhiên liệu chính để tăng tốc động cơ phản lực.

8. Hệ thống điều khiển động cơ phản lực hàng không theo điểm 1, trong đó thiết bị điều khiển tự động điều khiển động cơ với một quy trình điều khiển trong theo các giai đoạn:

giai đoạn khởi động; cụ thể thiết bị điều khiển cấp xung PWM điều khiển động cơ khởi động, tăng tốc động cơ từ trạng thái tĩnh;

giai đoạn đốt nóng; cụ thể thiết bị điều khiển cấp lệnh bật tắt cho thiết bị đánh lửa vào các thời điểm đã được lập trình;

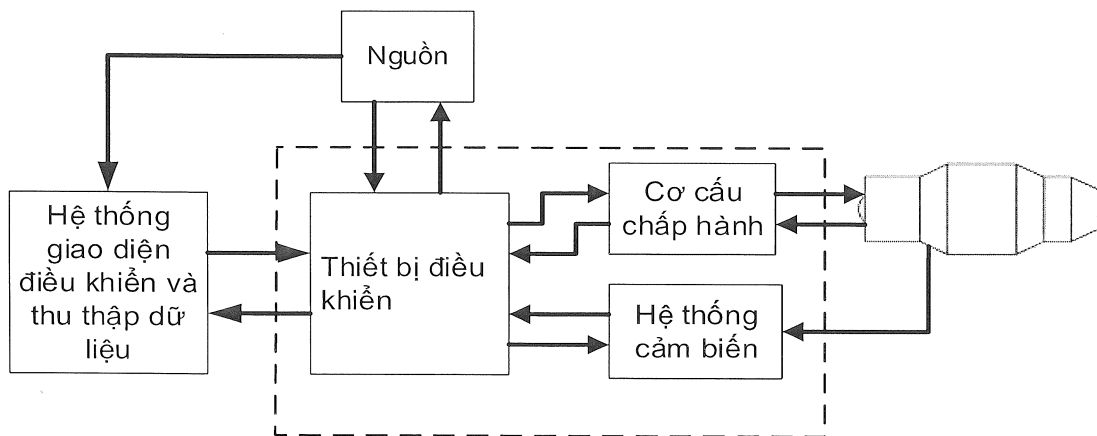
giai đoạn chuyển tiếp, cụ thể: xác định cách tăng tốc cho động cơ và thời điểm thiết bị khởi động và đánh lửa sẽ tắt;

giai đoạn hoạt động, cụ thể cảm biến tốc độ vòng quay thực hiện đo vận tốc quay của động cơ và vi điều khiển thực hiện chức năng điều khiển vận tốc góc bằng cách xuất xung điều khiển cho bơm, đồng thời đảm bảo an toàn cho thiết bị dựa trên nhiệt độ thu thập được;

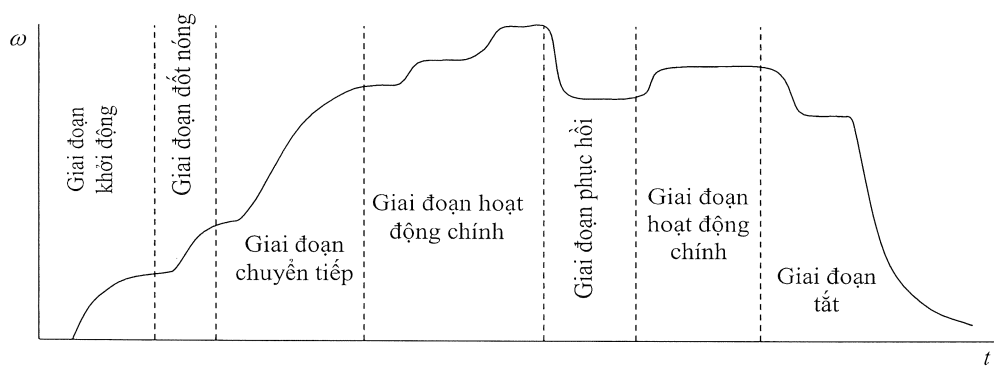
giai đoạn phục hồi; kích hoạt nếu vượt quá giá trị giới hạn của nhiệt độ và thiết bị điều khiển sẽ đưa ra các lệnh xử lý khi gặp các vấn đề mất an toàn;

giai đoạn tắt có thể được thực hiện tại bất kỳ thời điểm nào, nhưng tốt nhất khi tắt động cơ ở vận tốc thấp và nhiệt độ thấp.

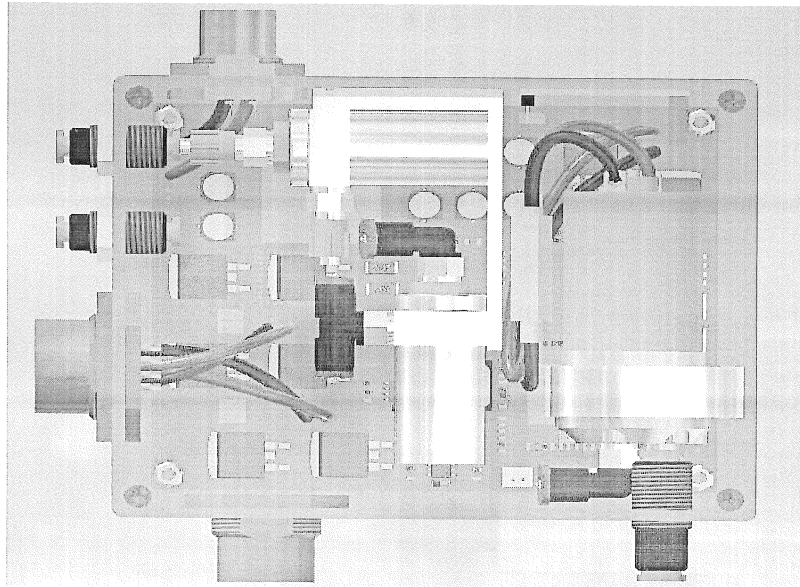
Hình vẽ



Hình 1



Hình 2



Hình 3