ĐIỀU KHIỂN VÒNG QUAY ĐỘNG CƠ KHÔNG CHỔI THAN BẰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN TUYẾN TÍNH DÙNG INCREMENTAL ENCODER

BRUSHLESS DC MOTOR SPEED CONTROL BY PROPORTIONAL CONTROLLER USING INCREMENTAL ENCODER

Lê Phạm Minh Quân,
Ngô Khánh Hiếu.
ĐH Bách khoa Tp. HCM.

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày bộ điều khiển tuyến tính cho động cơ không chổi than sử dụng trong máy bay mô hình dùng encoder. Mục đích của bộ điều khiển này là giữ ổn định số vòng quay động cơ. Các kết quả được thực hiện bằng đo đạc thí nghiệm thực tế.

ABSTRACT

This paper presents the Proportional controller to control speed of brushless DC motor used in aircraft model.

***Keywords**: BLDC, PID BLDC*

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Động cơ không chổi than (BLDC) được sử dụng rộng rãi trong các máy bay mô hình. Nếu dừng lại ở mức độ máy bay mô hình chỉ là một thú vui tiêu khiển thì động cơ chỉ cần điều khiển vòng hở. Nhưng ở những mô hình phức tạp, ví dụ như quadrotor, hoặc mô hình có chế độ bay tự động thì vấn đề ổn định và điều khiển số vòng quay động cơ là cần thiết.

Thông thường, có hai kiểu điều khiển vòng kín: kiểu có cảm biến và kiểu không có cảm biến. Kiểu có cảm biến dùng cảm biến Hall (Hall sensors), kiểu không cần cảm biến điều khiển theo sức phản điện ngược (Back Electromotive Force - BEMF) của dòng ba pha [1]. Ở đây, ta không dùng hai kiểu trên, ta sử dụng encorder như các encorder thông thường sử dụng ở phần lớn các loại động cơ một chiều khác.

Mục đích của bài báo này là đề xuất một bộ điều khiển PID để ổn định vòng quay động cơ BLDC mà không cần phải sử dụng Hall sensors chi phí cao hoặc BEMF phức tạp.

II. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ BLDC

A. Động cơ BLDC

BLDC thực chất là động cơ đồng bộ. Loại động cơ BLDC 3 pha được sử dụng rộng rãi. Bài báo này cũng chỉ đề cập đến loại này. Tốc độ quay đồng bộ phụ thuộc vào tần số dòng điện của stator và số cặp cực từ trên rotor.

$$n_s = \frac{60f}{p} \qquad (1)[3]$$

n_s: tốc độ quay đồng bộ (vòng/phút)

f: tần số dòng điện trên stator (Hz)

p: số cặp cực từ trên rotor.

Thực tế, tốc độ quay rotor nhỏ hơn tốc độ quay đồng bộ, bởi vì có sự trượt giữa stator và rotor.

$$n = n_s(1 - slip) \quad (2)[3]$$

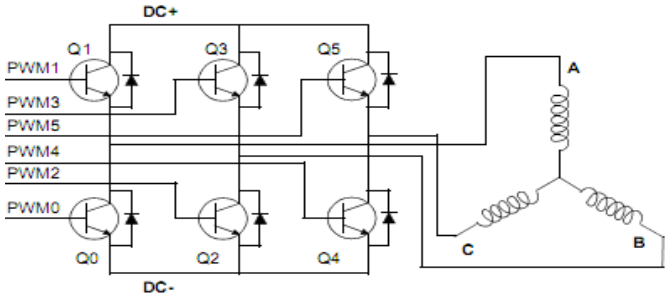
slip: tỷ số trượt.

Tỷ số trượt phụ thuộc vào nhiều yếu tố, phần lớn là phụ thuộc vào điện áp stator và tải trên trục.

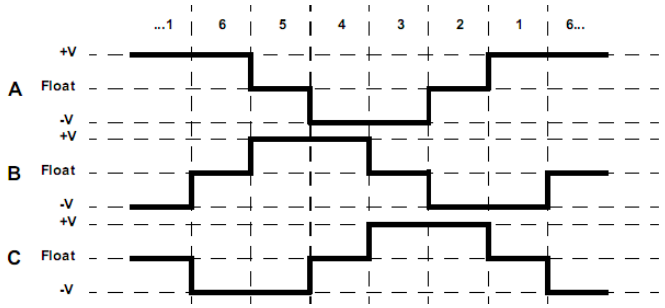
B. Bộ điều tốc (Electric Speed Controller-ESC)

Bộ điều tốc có chức năng biến đổi điện áp DC

của pin thành điện áp 3 pha quay động cơ (xem hình 1,2).

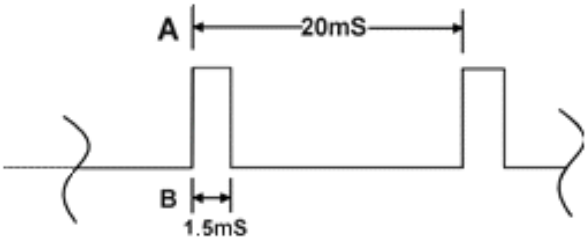


Hình 1: Nguyên tắc chuyển điện DC thành điện áp 3 pha [1]



Hình 2: Điện áp 3 pha điều khiển động cơ [2]

Điện áp stator thay đổi thì tỷ số trượt giữa stator và rotor thay đổi, dẫn đến tốc độ rotor thay đổi. Thay đổi điện áp stator sử dụng nguyên tắc PWM giống như ở động cơ DC thông thường. Tuy nhiên lưu ý rằng tín hiệu vào ESC là tín hiệu PPM, giống như tín hiệu điều khiển servo [3] (xem hình 3).



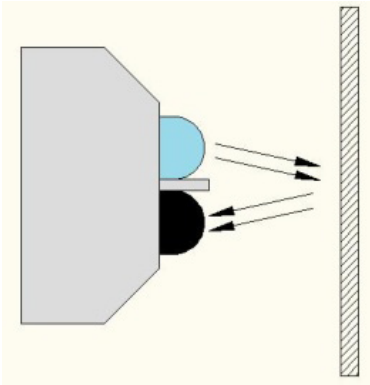
Hình 3: Tín hiệu PPM điều khiển servo ở vị trí neutral

Thông thường, thời gian mức thấp (mức 0) xấp xỉ 20ms, tương ứng với tần số dòng ba pha là 50Hz. Thời gian ở mức cao (mức 1) từ 1ms đến 2ms. Nếu 1ms, động cơ khởi động, 1.5ms động cơ quay với 50% công suất, 2ms, động cơ quay công suất cực đại.

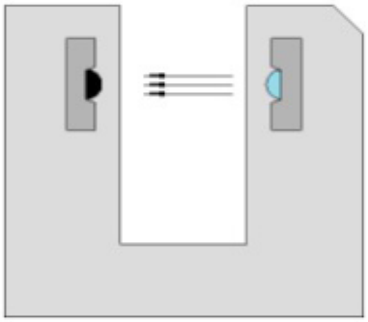
Cần lưu ý khi lựa chọn ESC chịu được dòng điện cực đại tương ứng với động cơ [4].

C. Phương pháp hồi tiếp số vòng quay động cơ

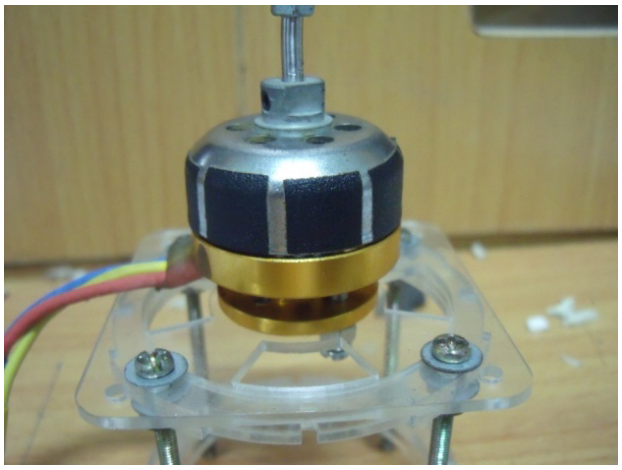
Để điều khiển vòng kín, cần phải có tín hiệu hồi tiếp số vòng quay động cơ. Có hai dạng mắt đọc hồng ngoại để đọc số vòng quay động cơ như ở hình 4 và hình 5. Nếu dùng loại 1 thì trên rotor được dán những vạch tối hấp thụ (hình 4). Khi dùng loại này cần lưu ý vật liệu hấp thụ hồng ngoại vì hồng ngoại rất dễ phản xạ, kể cả các vật liệu màu tối (xem hình 6).



Hình 4: Mắt đọc hồng ngoại loại 1



Hình 5: Mắt đọc hồng ngoại loại 2

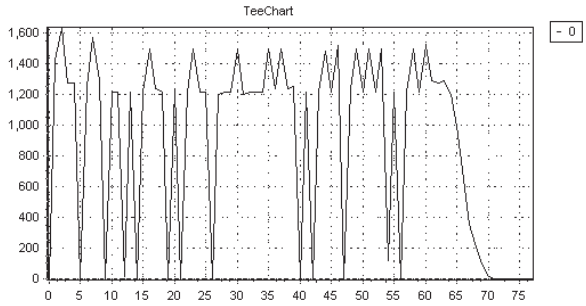


Hình 6: Miếng dán hấp thụ quang trên rotor động cơ BLDC

Loại 2 thông dụng hơn và thường được dùng trong các động cơ DC. Bài báo này sử dụng mắt hồng ngoại loại 2 và encorder.

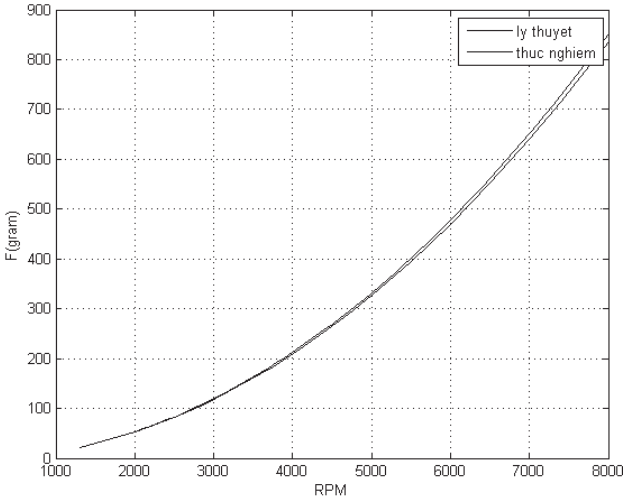
Các encoder có trên thị trường dùng cho các động cơ tốc độ chậm, số vạch trên encoder nhiều, không thể sử dụng cho động cơ BLDC quay với tốc độ nhanh, trung bình khoảng 5000-6000 vòng/phút. Do vậy encoder cho động cơ BLDC dùng trong bài viết này phải được thiết kế lại.

Mặc khác, vị trí lắp động cơ trên mô hình bay thường nhỏ gọn, do đó đường kính encorder không thể quá lớn. Nếu dùng encoder nhiều vạch thì sai số sẽ nhỏ. Nhưng với đường kính encoder nhỏ, số vạch nhiều thì độ nhạy của mắt đọc không đáp ứng được dẫn đến giá trị số vòng quay động cơ không chính xác, không thể điều khiển được (xem hình 7).



Hình 7: Đáp ứng của hệ dùng encorder 32 vạch

Tuy nhiên, động cơ BLDC thường dùng quay tải chong chóng để tạo lực cho các mô hình bay, nên sai số vòng quay dưới 5% có thể chấp nhận được. Hình 8 biểu diễn tương quan giữa lực đẩy ở điều kiện tĩnh và số vòng quay của chong chóng loại 2 cánh, kích thước 10x5 inches, một chong chóng thông dụng trong các mô hình bay, trong tính toán lý thuyết (đường ở phía trên) và đo đạc thực tế (đường được nội suy từ các điểm thực nghiệm ở phía dưới) [5]. Kết quả thu được cho thấy nếu sai số vòng quay khoảng 100 vòng/phút (khoảng 2% tốc độ so với vòng quay trung bình là 5000-6000 vòng/phút) thì lực đẩy của chong chóng thay đổi không đáng kể.



Hình 8: Giản đồ F/rpm của chong chóng 2 cánh, 10x5 inches

D. Sai số trong quá trình điều khiển

Sai số vòng quay phụ thuộc vào số vạch trên encoder và chu kỳ lấy mẫu (Ts). Số vạch nhiều, chu kỳ lấy mẫu dài thì sai số giảm và ngược lại.

Bảng 1: Sai số vòng quay tương ứng với sai số một xung của mắt đọc

Số vạch \ Ts (ms)	50	100	150	200	250	300
8	150.00	75.00	50.00	37.50	30.00	25.00
16	75.00	37.50	25.00	18.75	15.00	12.50
24	50.00	25.00	16.67	12.50	10.00	8.33
32	37.50	18.75	12.50	9.38	7.50	6.25
40	30.00	15.00	10.00	7.50	6.00	5.00

Trong quá trình điều khiển, tín hiệu mắt đọc thường có sai số 2-4 xung trong một chu kỳ lấy mẫu. Nếu chu kỳ lấy mẫu quá dài thì hệ thống đáp ứng chậm. Nếu chu kỳ lấy mẫu ngắn thì không cần thiết đối với hệ thống động cơ chong chóng này, đồng thời sai số sẽ lớn. Do đó, dựa theo bảng 1 chọn encoder 24 vạch, chu kỳ lấy mẫu Ts = 100 ms là phù hợp.

III. THUẬT ĐIỀU KHIỂN

Sử dụng khâu tuyến tính trong giải thuật PID để điều chỉnh thời gian mức cao (timeON) của tín hiệu PPM.

Để khởi động động cơ, giá trị khởi tạo

$$timeON = 800\ us \qquad (3)$$

Sau đó giá trị timeON được cập nhập theo công thức (4) để thay đổi tốc độ động cơ.

$$timeON = timeON + K_P * e_P \qquad (4)$$

e_P: sai số giữa vòng quay mong muốn và vòng quay do encoder đo được.

Thông số K_P được điều chỉnh bằng phương pháp thử và sai. Tuy nhiên, nếu giá trị K_P quá lớn hệ sẽ mất ổn định, nguy hiểm cho quá trình thí nghiệm. Dựa vào đáp ứng vòng hở của hệ thống, ta có thể dự đoán được khoảng giá trị K_P.

$$K_P \sim 1/k_{max} \qquad (5)$$

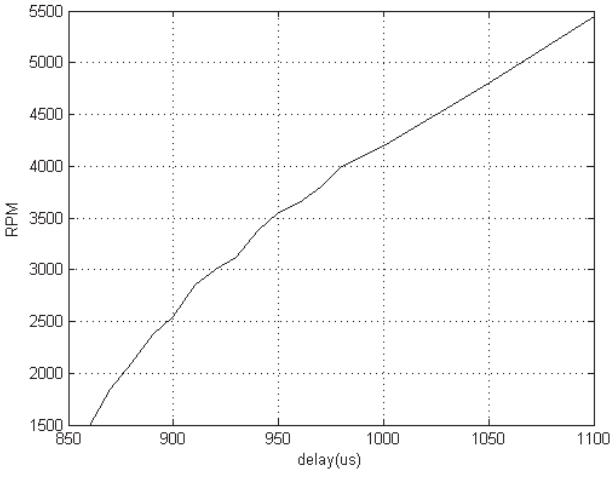
k_{max}: giá trị lớn nhất trong các hệ số góc của những đoạn tuyến tính được rời rạc hóa từ đặc tuyến vòng hở của hệ thống.

IV. MỘT SỐ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Trong mô hình thực nghiệm này, mạch điều khiển sử dụng PIC16F877A của hãng Microchip [6], giao tiếp với máy tính qua giao thức RS232. Đọc số vòng quay bằng timer0, định thời gian lấy mẫu bằng timer1, xuất xung điều khiển qua pin B7 (port B).

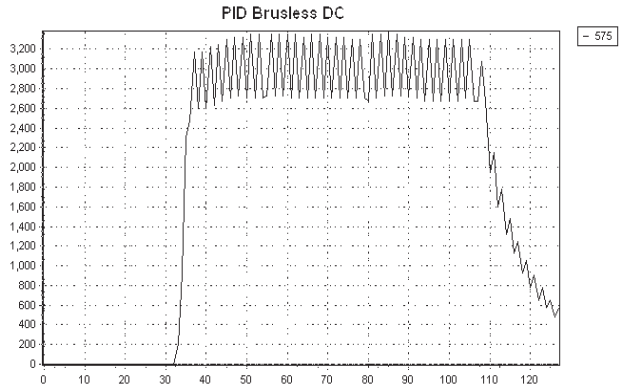
Một kết quả thực nghiệm đã đạt được.

Hình 9: Bệ gá động cơ [5]



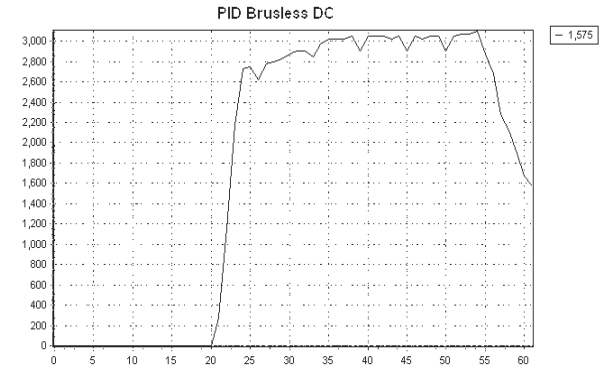
Hình 10: Đáp ứng vòng hở của hệ thống [5]

Hình 10 vẽ đường đáp ứng vòng hở của hệ thống với đầu vào là thời gian mức cao của tín hiệu PPM vào ESC, đầu ra là tốc độ quay động cơ.

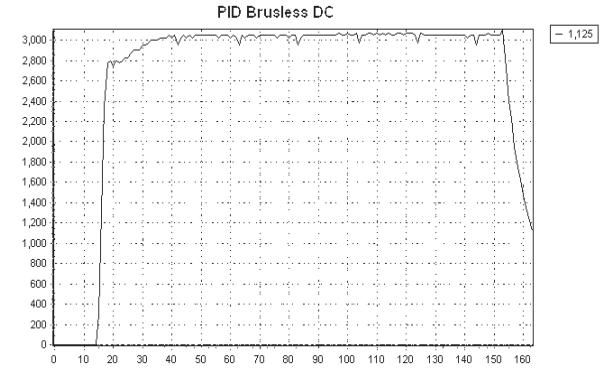


Hình 11: Đáp ứng hệ thống với Kp = 0.01, mức thấp của tín hiệu PPM 20ms

Kết quả thực nghiệm cho thấy đáp ứng của hệ thống còn phụ thuộc vào thời gian mức thấp của tín hiệu PPM vào ESC. Và mỗi loại ESC sẽ có một thời gian mức thấp thích hợp để cho đáp ứng tốt (xem hình 12, 13, 14, 15).

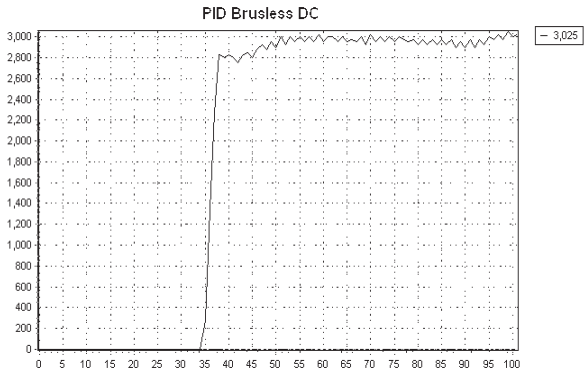


Hình 12: Đáp ứng hệ thống với Kp = 0.01, mức thấp của tín hiệu PPM 3ms

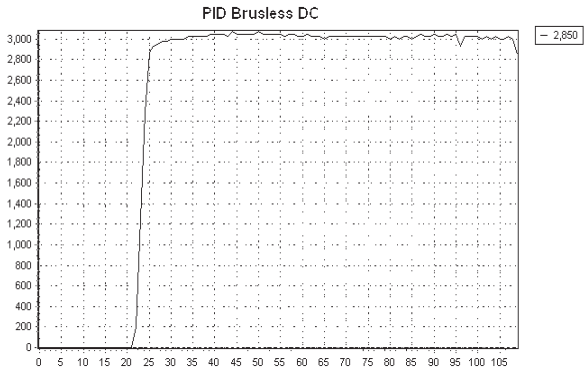


Hình 13: Đáp ứng hệ thống với Kp = 0.01, mức thấp của tín hiệu PPM 2ms

Nhận thấy các đỉnh sai số xảy ra theo chu kỳ. Ví dụ ở hình 13, các đỉnh sai số xảy ra ở vị trí 42s, 62s, 82s…, và ở hình 11, đáp ứng của hệ thống bị dao động. Nguyên nhân của việc này là do tần số của tín hiệu ảnh hưởng đến đặc tính của động cơ và ESC. Với những tín hiệu có tần số thấp, giá trị của dòng điện được cấp cho hệ thống sẽ dao động, dẫn đến đáp ứng của hệ thống cũng dao động theo. Để khắc phục tình trạng này, ta giảm dần thời gian mức thấp của tín hiệu PPM, đến một giá trị nào đó thấy đáp ứng của hệ thống tạm chấp nhận được thì chọn giá trị đó.



Hình 14: Đáp ứng hệ thống với Kp = 0.01, mức thấp của tín hiệu PPM 1ms



Hình 15: Đáp ứng hệ thống với Kp = 0.011, mức thấp của tín hiệu PPM 2ms

V. KẾT LUẬN

Các kết quả thực nghiệm cho thấy rằng bộ điều khiển PID dùng encorder đã đáp ứng được yêu cầu ổn định vòng quay của động cơ BLDC. Trong giới hạn công nghệ về chế tạo encoder nên sai số xác lập của hệ thống còn tương đối lớn. Tuy nhiên, nếu ứng dụng đặc thù trong lĩnh vực hàng không thì BLDC dùng để quay chong chóng nên sai số tốc động cơ không ảnh hưởng

nhiều đến sai số về mặt khí động (lực, áp suất, tốc độ gió). Do đó sai số này vẫn có thể chấp nhận được.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]Padmaraja Yedamale, *Microchip Technology Inc, AN885*, "Brushless DC (BLDC) Motor Fundamental".

[2]Ward Brown, *Microchip Technology Inc, AN857*, "Brushless DC Motor Control Made Easy".

[3].Futaba manual

[4].Website: www.rcgroups.com

[5].Lê Phạm Minh Quân, "Thiết kế chế tạo bệ thử lực đẩy chong chóng của các máy bay dùng động cơ điện không chổi than", Đề tài NCKH dành cho sinh viên PFIEV năm 2009, Đại học Bách khoa Tp. HCM.

[6].Datasheet PIC16F87X, Microchip.

[7].Nguyễn Văn Nhờ, *Cơ sở truyền động điện*, Nhà xuất bản Đại học quốc gia TP Hồ Chí Minh, 2003.