

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO VÀ THỬ NGHIỆM MẠCH ĐIỀU PHỐI NĂNG LƯỢNG ỨNG DỤNG CHO UAV NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

DESIGN, FABRICATION AND TESTING OF A MPPT CIRCUIT FOR APPLICATION
IN SOLAR UAV

Đinh Tấn Hưng

Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Với nhiều ưu điểm, máy bay không người lái (UAV) đang được nghiên cứu, phát triển trên toàn thế giới và có nhiều ứng dụng trong cả dân sự và quân sự. Hầu hết các UAV dân dụng đều có thời gian bay dưới 1 giờ, điều này hạn chế khả năng ứng dụng của chúng. Vì vậy, nhiều nhà khoa học tập trung vào việc tăng thời gian làm việc của UAV để mở rộng phạm vi ứng dụng. Và, UAV sử dụng năng lượng mặt trời là một trong những giải pháp giúp tăng thời gian bay. Để hệ thống pin năng lượng mặt trời trên UAV hoạt động với công suất tối ưu, mạch MPPT (Maximum Power Point Tracking) được lựa chọn sử dụng trên UAV năng lượng mặt trời. Bài báo này nhằm mục đích: (i) Thiết kế, chế tạo và thử nghiệm mạch MPPT; và (ii) Tích hợp mạch MPPT trên mẫu UAV năng lượng mặt trời đã được phát triển. Mạch MPPT tích hợp trên UAV đầu tiên được kiểm tra tĩnh trên mặt đất để đánh giá độ ổn định của mạch trong hệ thống hoàn chỉnh và sau đó thử nghiệm trên các chuyến bay của UAV để đánh giá khả năng tăng thời gian bay trong các điều kiện thời tiết khác nhau.

Từ khóa: Mạch MPPT; Điều khiển sạc năng lượng mặt trời; Năng lượng mặt trời; UAV năng lượng mặt trời.

ABSTRACT

With many advantages, unmanned aerial vehicle (UAV) is being studied, developed worldwide and has many applications in both civilian and military. Most developed civil UAVs has a flight time less than 1 hours which limit their applications. Thus, many scientists focus on extending the endurance of UAV to open a wide range of application. And solar powered UAV is one of the solutions to increase the flight time. For solar battery systems on UAV operate with optimal power, the MPPT circuit is used on solar UAV. The aims of this paper consist of (i) Design, fabrication and testing of a MPPT circuit; (ii) Integration of the MPPT circuit on the solar UAV prototype. The MPPT circuit integrated on the UAV was first static test on the ground to evaluate the stability of the circuit in complete system and then flight testing to evaluate the increased endurance in different weather conditions.

Keywords: MPPT circuit; Solar Charge Controller; Solar power; Solar UAV.

1. GIỚI THIỆU

Là một nguồn năng lượng tái tạo, năng lượng mặt trời đang ngày càng trở nên phổ biến trong đời sống hiện đại. Nó hoàn toàn có thể thay thế các nguồn năng lượng không tái tạo như than đá, dầu mỏ và năng lượng hạt nhân. Năng lượng mặt trời không ô nhiễm, tin cậy và có thể sản xuất năng lượng bất cứ nơi nào có mặt trời chiếu sáng. Nó thậm chí còn có lợi thế hơn các nguồn năng lượng tái tạo khác như gió và năng lượng nước. Năng lượng mặt trời được tạo ra từ các tấm pin, không cần bất kỳ bộ phận cơ khí truyền động lớn như tuabin gió, không gây ồn và bảo trì đơn giản. Tuổi thọ của các tấm pin mặt trời có thể kéo dài đến vài chục năm mà không cần thay thế. Mặt khác, khối lượng của một hệ thống pin mặt trời là khá nhẹ so với các hệ thống cung cấp năng lượng khác với cùng một công suất. Từ những ưu điểm của năng lượng mặt trời, việc ứng dụng nó trên UAV để kéo dài thời gian bay là hoàn toàn khả thi. Thực tế, trên thế giới đã có các nghiên cứu về lĩnh vực này và đã có các sản phẩm khá thành công, kéo dài thời gian bay của UAV lên đến 1 tuần [1]. Tuy nhiên, năng lượng điện mặt trời luôn bị ảnh hưởng bởi điều kiện thời tiết (nhiệt độ, cường độ sáng), để khắc phục điều này, pin mặt trời sẽ được kết hợp với pin lưu trữ để đảm bảo công suất đầu ra cho tải trên UAV. Vậy, việc nghiên cứu và thiết kế mạch dò tìm điểm công suất làm việc tối ưu cho hệ thống pin mặt trời ở các điều kiện thời tiết khác nhau, phối hợp nguồn năng lượng pin mặt trời và pin lưu trữ trên UAV là rất cần thiết và là vấn đề đang được nghiên cứu hiện nay.

Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về mạch MPPT được công bố, tuy nhiên các nghiên cứu chủ yếu tập trung cho hệ thống pin mặt trời và acquy đặt tĩnh tại mặt đất, chưa có nhiều nghiên cứu về mạch MPPT cho UAV

năng lượng mặt trời. Vì thế cần thiết phải nghiên cứu về mạch MPPT cho Solar UAV.

Mục tiêu của bài báo bao gồm:

- Thiết kế, chế tạo và thử nghiệm mạch MPPT ứng dụng cho mẫu solar UAV;

- Tích hợp mạch trên solar UAV và tiến hành thử nghiệm:

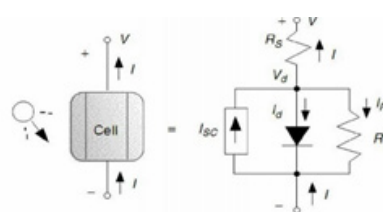
- + Thử nghiệm tĩnh để đánh giá độ ổn định của mạch trong một hệ thống hoàn chỉnh;

- + Thử nghiệm bay để đánh giá thời gian bay tăng thêm trong các điều kiện thời tiết khác nhau.

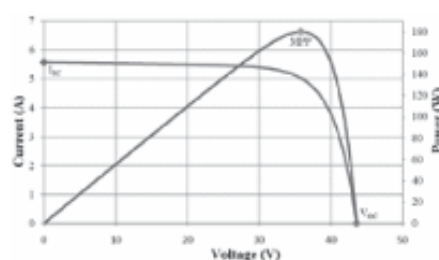
2. LÝ THUYẾT

2.1. Đường đặc tính làm việc của pin mặt trời

Về mặt nguyên lý, pin mặt trời tương đương với sơ đồ mạch gồm nguồn dòng thực mắc song song với diode như trong Hình 1 và đường đặc tính I-V như trong Hình 2.



Hình 1. Sơ đồ mạch của pin mặt trời



Hình 2. Đường đặc tính I-V của pin mặt trời

Quan hệ giữa điện áp (V) và dòng điện (I) của pin mặt trời như sau (Hình 2):

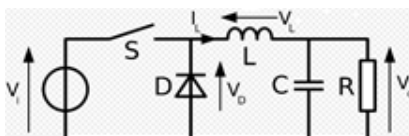
$$I = I_{sc} - I_d - I_p$$

$$= \alpha E - I_s \left[\exp \left(\frac{qV}{n_d k_B T} \right) - 1 \right] - \frac{V}{R_p} \quad (1)$$

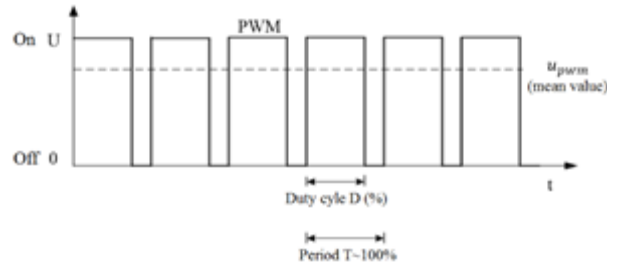
Trong đó, I_{sc} là dòng quang điện, tỷ lệ (α) với cường độ chiếu sáng của mặt trời (E) và đo được thực nghiệm bằng cách đo dòng ngắn mạch; I_d là dòng qua diode tuôn theo hàm mũ với I_s là dòng bão hòa qua diode, phụ thuộc đặc tính của từng diode; I_p là dòng qua trở R_p .

2.2. Nguyên lý dung hợp tải

Khi pin mặt trời được mắc trực tiếp với tải, điểm làm việc của pin sẽ là giao điểm giữa đường đặc tính I-V của pin và đường đặc tính I-V của tải. Trên đường đặc tính P-V của pin luôn có một điểm công suất cực đại (MPP). Khi đó, điện trở tải $R = V_{out}/I_{out}$ với V_{out} , I_{out} là điện áp và dòng điện ra; Tải lớn nhất của pin $R_{opt} = V_{MPP}/I_{MPP}$ với V_{MPP} , I_{MPP} là điện áp và dòng điện tại điểm công suất cực đại MPP. Khi giá trị của tải khớp với giá trị R_{opt} thì công suất truyền từ pin đến tải sẽ là công suất lớn nhất. Tuy nhiên, điều này thường hiếm khi đạt được trong thực tế, nên hệ không sinh ra công suất lớn nhất. Mạch MPPT sẽ điều khiển điện áp hai đầu pin mặt trời để điểm làm việc dao động quanh điểm MPP. Phương pháp MPPT có thể xác định chính xác đến 97% điểm MPP. Trong bài báo này, mạch giảm áp Buck [2] (Hình 3) với xung điều khiển (Hình 4) được sử dụng để phối hợp trở kháng.



Hình 3. Mạch giảm áp Buck



Hình 4. Xung điều khiển

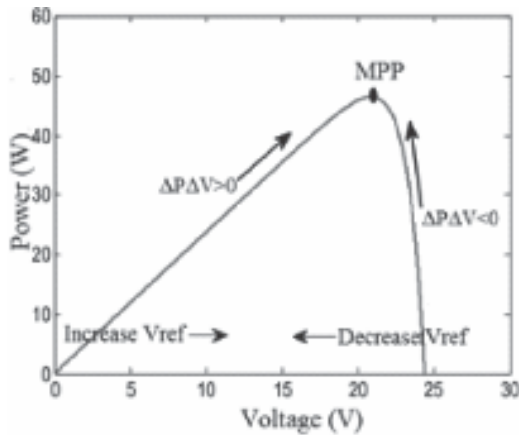
Như vậy:

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{V_{out}/D}{DI_{out}} = \frac{R}{D^2} \quad (2)$$

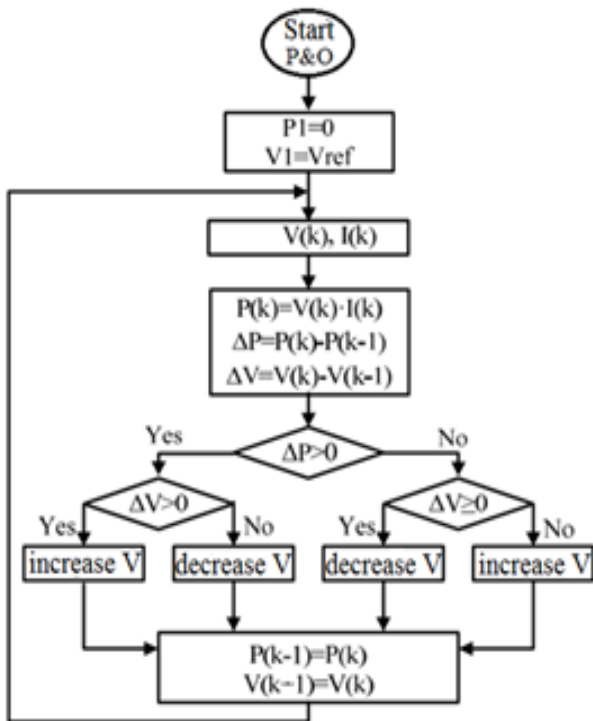
Với D là tỉ số giữa thời gian khóa S đóng và chu kỳ T.

2.3. Thuật toán bám điểm làm việc có công suất lớn nhất (MPPT)

Có nhiều phương pháp để thực hiện thuật toán MPPT, trong bài báo này, ta sử dụng phương pháp nhiễu và quan sát (Perturb and Observe – P&O). Đây là phương pháp đơn giản và được sử dụng thông dụng nhất nhờ sự đơn giản trong thuật toán và việc thực hiện dễ dàng. Thuật toán này xem xét sự tăng, giảm điện áp theo chu kỳ để tìm được điểm làm việc có công suất lớn nhất. Nếu sự biến thiên của điện áp làm công suất tăng lên thì sự biến thiên tiếp theo sẽ giữ nguyên chiều hướng tăng hoặc giảm. Ngược lại, nếu sự biến thiên làm công suất giảm xuống thì sự biến thiên tiếp theo sẽ có chiều hướng thay đổi ngược lại. Khi điểm làm việc có công suất lớn nhất được xác định trên đường cong đặc tính thì sự biến thiên điện áp sẽ dao động xung quanh điểm làm việc có công suất lớn nhất đó.



Hình 5. Phương pháp P&O



Hình 6. Lưu đồ thuật toán P&O

Cụ thể nhìn vào Hình 5, ta thấy nếu $\Delta P \Delta V > 0$, điểm làm việc đang nằm bên trái điểm MPP, ta cần tăng giá trị điện áp (V_{ref} hay tỉ lệ D) để điểm làm việc tiến gần tới điểm MPP. Ngược lại, điểm làm việc đang nằm bên phải điểm MPP, ta cần giảm điện áp. Điều này dẫn đến dao động của điểm làm việc xung quanh điểm MPP, gây tổn hao một phần công suất. Để

giảm sự dao động này, ta có thể giảm bước biến thiên của D, tuy nhiên như vậy mạch lại đáp ứng chậm với sự thay đổi của điều kiện thời tiết. Hình 6 là lưu đồ thuật toán P&O.

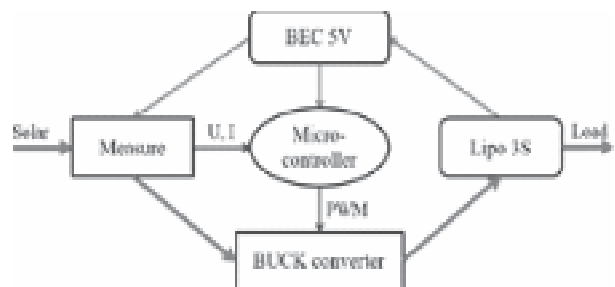
3. THIẾT KẾ, CHẾ TẠO VÀ THỬ NGHIỆM MẠCH MPPT

3.1. Thiết kế, chế tạo mạch MPPT

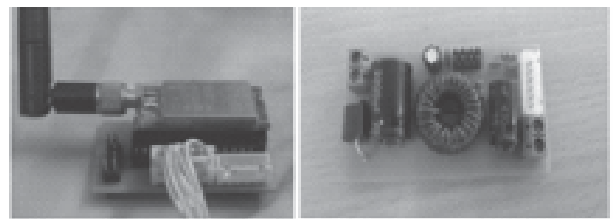
Mạch MPPT hoạt động theo nguyên lý của mạch giảm áp Buck DC-DC Converter với chỉ tiêu thiết kế:

- Điện áp đầu vào (pin mặt trời) 15-30V;
- Đầu ra kết nối pin Lipo 2-4S (7,4V – 14,8V);
- Dòng điện lớn nhất 15A, có chống dòng xả ngược;
- Công suất 150W;
- Sai số điện áp đầu ra không quá 5%.

Sơ đồ khối mạch MPPT được thể hiện trong Hình 7 và mạch MPPT thiết kế được thể hiện trong Hình 8.



Hình 7. Sơ đồ khối mạch MPPT

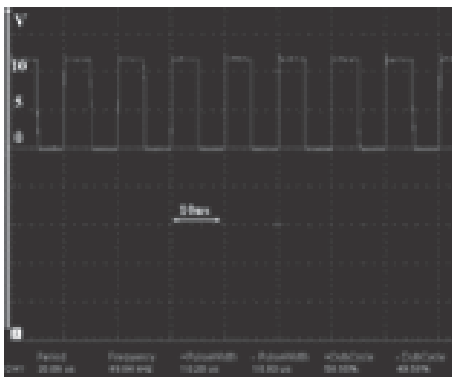


Hình 8. Mạch MPPT

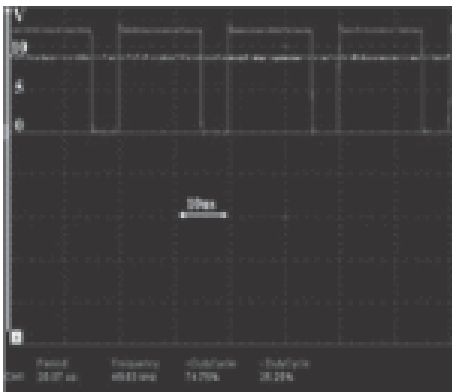
3.2. Thử nghiệm tĩnh và hiệu chỉnh mạch MPPT

a. Kiểm tra xung PWM của cầu Mosfet

Sử dụng oscilloscope kiểm tra tín hiệu xung PWM của cầu Mosfet với $D = 50\%$. Các kết quả cho thấy tín hiệu PWM không nhiễu, không méo và chính xác (Hình 9).



Hình 9. Xung ra từ Mosfet



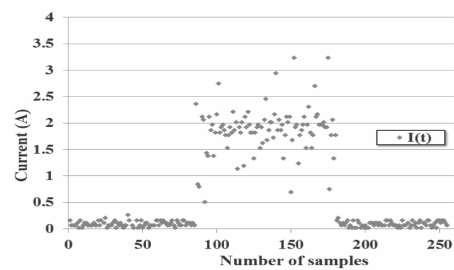
Hình 10. Kết quả Buck ở độ rộng xung 75%

b. Kiểm tra độ chính xác của mạch Buck

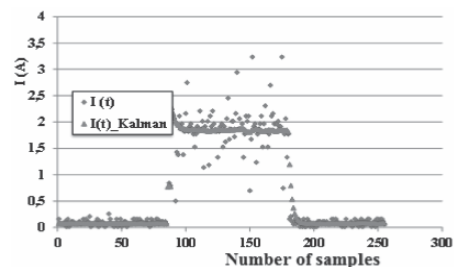
Cấp đầu vào là Pin Lipo 3S điện áp đo được 11,889V, sau đó chọn độ rộng xung D là 75%. Xung tín hiệu thu được ở điện áp ra Hình 10 có giá trị điện áp đầu ra ổn định 8,942V so với lý thuyết là 8,917V. Sai số bằng 0,28% là rất nhỏ, phù hợp chỉ tiêu thiết kế đã đưa ra.

c. Dùng bộ lọc Kalman xử lý tín hiệu cảm biến

Tiến hành thử tải và lấy mẫu giá trị dòng điện đo được từ cảm biến dòng (tốc độ lấy mẫu 10 lần/s) với việc dùng và không dùng bộ lọc Karman [3-4]. Không sử dụng bộ lọc Karman (Hình 11a), giá trị dòng điện đo được không ổn định và có nhiễu (do linh kiện, điện áp nguồn...). Còn với bộ lọc Karman (Hình 11b), các giá trị ước lượng tương đối ổn định và chính xác, giá trị nhiễu đã bị loại bỏ.



a. Kết quả không bộ lọc Karman



b. Kết quả với bộ lọc Kalman

Hình 11. Kết quả cảm biến

3.3. Thử nghiệm

a. Thử nghiệm tĩnh

Thử nghiệm tĩnh được tiến hành trên mặt đất với hai phương án: (1) Chỉ pin Lipo đơn thuần; và (2) Kết hợp pin Lipo với pin mặt trời. Kết quả đo đạc ở Bảng 1 cho thấy, việc sử dụng pin mặt trời với mạch điều phối đã cho kết quả rất tốt ở cả hai chế độ tiêu thụ năng lượng 50% ga và 70% ga. Thời gian sử dụng pin Lipo kết hợp với pin mặt trời trong các lần

thử nghiệm có sự chênh lệch lớn do điều kiện nắng trong mỗi lần thử nghiệm khác nhau. Kết quả thử nghiệm cho thấy, thời gian hoạt động có thể lên tới 133 phút ở chế độ 50% ga (đây là mức công suất của động cơ khi máy bay bay bằng) cho thấy mạch MPPT đã hoạt động ổn định trong một thời gian khá dài.

Bảng 1. Kết quả thử nghiệm tĩnh

Mức ga	Chỉ pin Lipo		Kết hợp pin Lipo và pin mặt trời	
	Lần 1	Lần 2	Lần 1	Lần 2
50%	20 phút	20 phút	63 phút	133 phút
70%	8 phút	8 phút	11 phút	30 phút

b. Thử nghiệm bay thực tế với mạch MPPT

Thử nghiệm bay tự động UAV năng lượng mặt trời của [5] với trường hợp sử dụng pin Lipo kết hợp với pin năng lượng mặt trời. Kết quả thời gian bay với mạch MPPT tăng gấp hơn hai lần từ 15 phút lên 35-40 phút trong điều kiện có nắng (Bảng 2). Kết quả hiện tại đã chứng tỏ mạch hoạt động tốt và ổn định, phát huy tác dụng của pin mặt trời.

Bảng 2. Kết quả bay thử nghiệm với pin mặt trời và mạch MPPT

Điều kiện thời tiết khi bay thử	Lần 1	Lần 2	Lần 3
	Nắng nhẹ, ít mây, gió cấp 1-2	Nắng nhẹ, ít mây, gió cấp 1-2	Nắng gắt 40°C, ít mây, gió nhẹ
Thời gian thử nghiệm	3 giờ chiều	3 giờ chiều	1 giờ chiều
Tải có ích trên	0 g	0 g	800 g
Thời gian bay thử	35 phút	40 phút	40 phút

4. KẾT LUẬN

Máy bay không người lái sử dụng năng lượng mặt trời là một trong những giải pháp giúp tăng thời gian bay và mở ra phạm vi ứng dụng rộng rãi của UAV. Mạch MPPT được thiết kế thành công, hoạt động ổn định, chính xác và phù hợp với yêu cầu của UAV năng lượng mặt trời. Kết quả bài báo cho thấy mạch MPPT đóng vai trò quan trọng trong việc phối hợp nguồn năng lượng mặt trời và pin Lipo với tải hệ thống trên UAV. Khi kết hợp mạch MPPT và pin năng lượng mặt trời, thời gian bay tăng hơn gấp đôi. Kết quả này là cơ sở để phát triển mạch MPPT ứng dụng trong UAV năng lượng mặt trời ở quy mô lớn hơn trong tương lai. ❖

Ngày nhận bài: 19/4/2024
Ngày phản biện: 23/5/2024

Tài liệu tham khảo:

[1]. André North, “Design of solar powered airplanes for continuous flight”, Thesis of doctor of Technical Sciences, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 2009.

[2]. “LC selection guide for the DC-DC synchronous Buck converter”, Application note, Semiconductor Components Industries, LLC, 2013.

[3]. “The scalar Kalman filter”, Swarthmore College; <https://cheever.domains.swarthmore.edu/Ref/Kalman/ScalarKalman.html>

[4]. S. M. Bozic, “Digital and Kalman filtering: an introduction to discrete-time filtering and optimum linear estimation”, Edward Arnold, 1994.

[5]. Nguyễn Văn Dinh, Bùi Đức Xuân; “Nghiên cứu ứng dụng pin mặt trời trong chế tạo UAV dạng tàu lượn với tải trọng có ích 1kg”, Đồ án tốt nghiệp, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2015.