

DOI:10.22144/ctu.jvn.2019.152

TỔNG QUAN CÁC KỸ THUẬT THU NĂNG LƯỢNG TỪ TẾ BÀO NHIÊN LIỆU VI KHUẨN

Quách Ngọc Thịnh^{1*}, Thiều Quang Quốc Việt¹, Đào Minh Trung¹ và Phạm Văn Toàn²

¹Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

²Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Quách Ngọc Thịnh (email: ngocthin@ctu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 03/07/2019

Ngày nhận bài sửa: 07/09/2019

Ngày duyệt đăng: 25/12/2019

Title:

A review on energy harvesting technologies for microbial fuel cell

Từ khóa:

Bơm điện tích, điểm công suất cực đại, mạch tăng áp, tế bào nhiên liệu vi khuẩn, tụ điện

Keywords:

Boost converter, capacitor, charge pump, maximum power point, microbial fuel cell

ABSTRACT

In recent years, there have been great attentions in microbial fuel cells (MFCs) because they use a variety of biodegradable substrates as fuel and MFC is considered as a renewable energy source. However, MFC generates a very low power. Consequently, harvest and use of this energy source is still a major challenge for scientists. Thus, energy harvesting systems are very necessary for real applications. There have been many researches on technology to harvest and store energy from MFC, but they are only individual research projects. Therefore, this paper provides an overview of MFC energy harvesting technology and mentions the ability to develop into commercial energy source.

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, các nhà nghiên cứu đã có những sự quan tâm lớn đến tế bào nhiên liệu vi khuẩn bởi vì chúng sử dụng nhiên liệu từ nhiều chất nền phân hủy sinh học khác nhau và tế bào nhiên liệu vi khuẩn được xem như là một nguồn năng lượng tái tạo. Tuy nhiên, năng lượng thu được từ tế bào nhiên liệu là rất nhỏ. Do đó, việc thu và sử dụng nguồn năng lượng này vẫn đang là một thử thách lớn đối các nhà khoa học. Vì thế, những hệ thống thu năng lượng từ tế bào nhiên liệu vi khuẩn là rất cần thiết cho những ứng dụng thực tiễn. Nhiều nghiên cứu về các kỹ thuật thu và tích trữ năng lượng từ tế bào nhiên liệu vi khuẩn đã được thực hiện. Tuy nhiên, những nghiên cứu này chỉ dừng lại ở mức độ riêng lẻ. Do đó, bài báo giúp cho các nhà khoa học có một cái nhìn tổng quan về các kỹ thuật thu năng lượng từ tế bào nhiên liệu vi khuẩn và khả năng phát triển thành một nguồn năng lượng thương mại.

Trích dẫn: Quách Ngọc Thịnh, Thiều Quang Quốc Việt, Đào Minh Trung và Phạm Văn Toàn, 2019. Tổng quan các kỹ thuật thu năng lượng từ tế bào nhiên liệu vi khuẩn. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 55(6A): 1-8.

1 GIỚI THIỆU

Trong những thập niên gần đây, nhu cầu sử dụng điện không ngừng gia tăng do sự phát triển của kinh tế - xã hội nói chung và các khu công nghiệp nói riêng (Rahimnejad *et al.*, 2011). Nguồn năng lượng được phân thành ba loại: nhiên liệu hóa thạch, năng lượng hạt nhân và năng lượng tái tạo

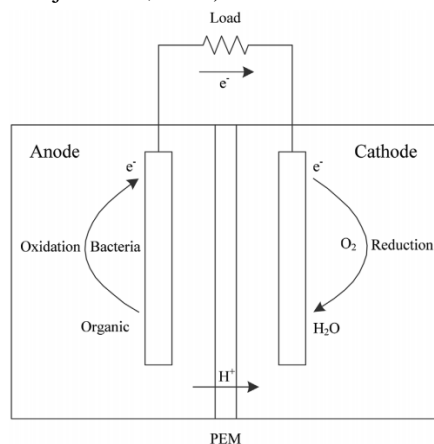
(Akdeniz *et al.*, 2002). Trong đó, việc tiêu thụ điện từ nguồn nhiên liệu hóa thạch và năng lượng hạt nhân chiếm tỷ trọng đáng kể (Rahimnejad *et al.*, 2009). Nhiên liệu hóa thạch là nguồn phát khí thải CO₂, nguyên nhân gây ra hiện tượng ấm lên toàn cầu và hiệu ứng nhà kính (Rahimnejad *et al.*, 2012). Do đó, các quốc gia trên thế giới đã cố gắng để tìm ra nguồn năng lượng thay thế, tiêu biểu là

nguồn năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời, năng lượng gió và năng lượng nước. Trong những năm gần đây, một nguồn năng lượng mới được phát hiện, đó là năng lượng từ tế bào nhiên liệu vi khuẩn (MFC). Loại tế bào nhiên liệu này sử dụng vi sinh vật để chuyển đổi năng lượng hóa học lưu trữ trong chất phân hủy sinh học trực tiếp thành điện. Do đó, MFC có những ưu thế hơn so với các loại máy phát năng lượng khác như không phát ra khí thải ô nhiễm môi trường (SO_x, NO_x, CO₂ và CO), không có bộ phận chuyển động nên sẽ không gây ra ô nhiễm tiếng ồn,... (Peighambardoust *et al.*, 2010). Tuy nhiên, chi phí và khối lượng của nguồn phát này là lớn. Hơn nữa, điện áp và công suất điện phát ra từ MFC là rất thấp, gây khó khăn trong việc ứng dụng vào các thiết bị thực tế. Theo lý thuyết, điện thế anode và cathode được tính bởi phương trình Nernst là -0,3 V và 0,8 V khi acetate được sử dụng như là phần tử cho electron và oxy là phần tử nhận electron. Vì thế, điện áp giữa hai điện cực là 1,1 V (Logan *et al.*, 2006; Du *et al.*, 2007; Wang and Ren, 2014). Tuy nhiên trên thực tế, điện áp quan sát được lúc mở mạch chỉ là 0,7 - 0,8 V bởi vì tổn thất điện thế điện cực như phân cực kích hoạt, phân cực nồng độ và tổn thất do điện trở (Du *et al.*, 2007). Điện thế cũng thay đổi khi sử dụng những bộ thu, bộ nhận electron hoặc chất cấy vi khuẩn khác nhau. Tương tự với hệ thống điện gió và điện mặt trời, trong MFC luôn tồn tại một cặp điện áp - dòng điện, tại điểm đó điện trở ngoài sẽ bằng điện trở trong của hệ thống và công suất thu được là cực đại. Điểm công suất này được gọi là điểm công suất cực đại (Degrenne *et al.*, 2012; Park and Ren, 2012). Tuy nhiên, việc điều khiển điểm công suất cực đại sẽ tùy thuộc vào yêu cầu của mỗi hệ thống. Với những MFC trong hệ thống xử lý nước thải, yêu cầu chính là khử chất hữu cơ trong nước hơn là thu được công suất cực đại. Do đó, trong suốt quá trình vận hành cần phải xem xét nhu cầu khi nào cần thu được công suất cực đại hoặc khi nào cần dòng điện cao để đạt được tốc độ oxy hóa chất nền nhanh nhất. Trong các tế bào điện phân vi khuẩn, yêu cầu chính là việc sản sinh ra khí H₂ mà không phải là điều khiển công suất cực đại. Các kỹ thuật thu năng lượng từ MFC truyền thống chỉ chứng minh được rằng tế bào nhiên liệu sẽ phát ra được công suất điện mà không phải là năng lượng có thể sử dụng vì năng lượng thu được sẽ bị tiêu tán dưới dạng nhiệt thông qua điện trở. Hơn nữa, việc kết hợp điện trở ngoài và điện trở trong của hệ thống là vô cùng khó khăn bởi vì điện trở trong của tế bào nhiên liệu vi khuẩn sẽ thay đổi cùng với sự thay đổi của hoạt động vi khuẩn và thông số vận hành. Do đó, để thu được năng lượng từ MFC và sử dụng năng lượng đó cho các thiết bị điện đòi hỏi phải thay thế điện trở ngoài bằng các

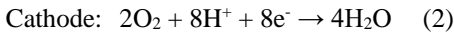
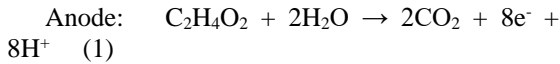
bộ thu và tích trữ năng lượng. Công suất phát ra từ các MFC nằm trong khoảng 100 - 2000 mW/m² và điện áp trong khoảng 700 - 800 mV (Erbay *et al.*, 2014). Trong khi hầu hết các thiết bị điện yêu cầu mức điện áp và công suất lớn hơn, việc kết nối trực tiếp một tế bào nhiên liệu vi khuẩn đến tải là điều không thể. Thêm vào đó, việc tăng kích thước của MFC cũng không làm tăng đáng kể công suất phát ra (Aelterman *et al.*, 2006; Donovan *et al.*, 2011). Vì thế, việc phát triển các bộ thu và tích trữ năng lượng cho MFC là cần thiết. Một bộ thu năng lượng từ MFC cơ bản sẽ bao gồm tụ điện, pin sạc, bộ tăng áp và các linh kiện điện tử công suất. Trong quá khứ đã có rất nhiều nghiên cứu và các kỹ thuật thu năng lượng từ MFC, nhưng các nghiên cứu đó chỉ dừng lại ở khía cạnh riêng lẻ. Do đó, bài báo này sẽ giúp cho các nhà khoa học có một cái nhìn tổng quan về các kỹ thuật thu năng lượng từ MFC và khả năng phát triển thành một nguồn năng lượng thương mại.

2 TẾ BÀO NHIÊN LIỆU VI KHUẨN

Một MFC gồm có một buồng anode và một buồng cathode, hai buồng này được ngăn cách với bởi màng ngăn trao đổi ion như được thể hiện trong Hình 1 (Logan *et al.*, 2006; Ghasemi *et al.*, 2013; Xia *et al.*, 2018). Vi sinh vật trong anode sẽ oxy hóa chất nền hữu cơ và sinh ra electron và proton (Antonopoulou *et al.*, 2010). Proton được dẫn đến buồng cathode xuyên qua màng ngăn, trong khi đó electron không thể di chuyển qua màng ngăn này mà chỉ có thể truyền tải đến anode thông qua mạch ngoài. Proton và electron tái hợp với nhau và cùng với chất nền oxy ở phía cathode tạo thành nước. Để minh họa cho quá trình này, phản ứng phía anode của acetic acid được thể hiện như trong phương trình (1) và phương trình (2) (Rahimnejad *et al.*, 2015).

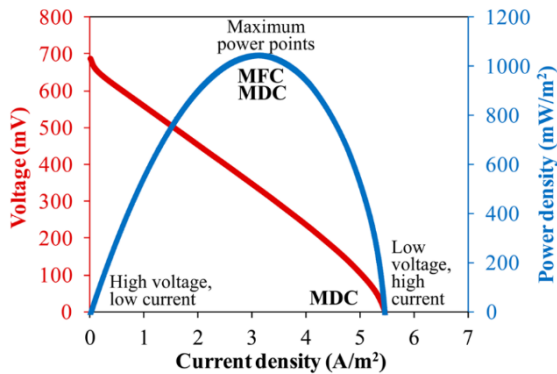


Hình 1: Tế bào nhiên liệu vi khuẩn



Oxy trong buồng anode sẽ ức chế quá trình sản sinh ra điện. Do đó, hệ thống thực tế phải được thiết kế để ngăn không cho vi khuẩn tiếp xúc với oxy. Chất xúc tác sinh học được ngăn cách với oxy bằng cách đặt một màng ngăn giữa hai buồng để cho phép điện tích chuyển đổi giữa các điện cực anode và cathode. Buồng anode là nơi phát triển của vi khuẩn, trong khi đó electron sẽ phản ứng với oxy ở buồng cathode để tạo thành nước.

Đường cong điện áp và công suất của một MFC được thể hiện như trong Hình 2 (Wang *et al.*, 2015). Điện áp và công suất phát ra của MFC là rất thấp. Bên cạnh đó, những đường cong này còn chứng minh rằng điện áp MFC tỷ lệ nghịch với dòng điện ngõ ra. Tuy nhiên, trên đường cong điện áp-dòng điện sẽ tồn tại một cặp giá trị mà tại đó công suất phát ra của MFC là lớn nhất. Điều này xảy ra khi điện trở ngoài bằng điện trở trong của hệ thống và giá trị này được gọi là điểm công suất cực đại.



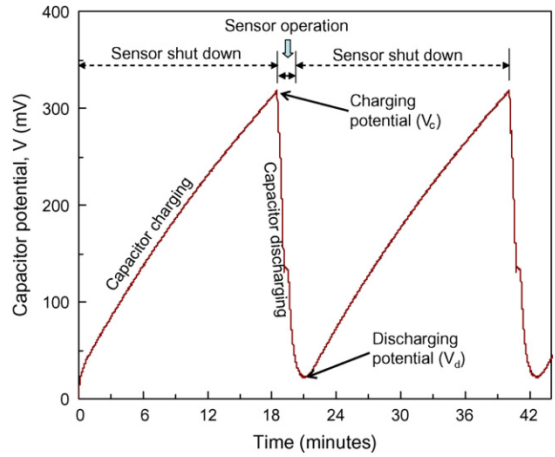
Hình 2: Đường cong đặc tính của MFC

3 CÁC KỸ THUẬT THU NĂNG LƯỢNG TỪ MFC

3.1 Tụ điện

Trong mạch điện, tụ điện là một phần tử tích trữ năng lượng dưới dạng điện trường. Khi tụ được nạp năng lượng thì điện áp giữa hai đầu tụ sẽ tăng, đồng thời dòng điện qua tụ sẽ giảm. Khi tụ xả năng lượng thì điện áp giữa hai đầu tụ sẽ giảm và dòng điện qua nó cũng giảm theo. Thời gian sạc của tụ điện sẽ phụ thuộc vào dung kháng của tụ. Khi tụ điện được nối trực tiếp với MFC thì tụ sẽ nạp và tích trữ năng lượng từ MFC (Dewan *et al.*, 2009; Dewan *et al.*, 2010). Như được thể hiện trong Hình 3, một MFC cung cấp năng lượng cho một cảm biến không dây. Đầu tiên, tụ sẽ nạp năng lượng từ MFC và điện áp tăng dần. Khi điện áp giữa hai đầu

tụ đạt đến 320 mV thì cảm biến hoạt động và điện áp của tụ sẽ giảm. Khi điện áp giữa hai đầu tụ giảm đến 52 mV thì cảm biến ngừng hoạt động.



Hình 3: Quá trình nạp/xả của tụ điện trong hệ thống MFC

Năng lượng tích trữ trong tụ điện được tính bởi phương trình (3):

$$W = \frac{1}{2}CU^2 \quad (3)$$

Trong đó:

W là năng lượng tích trữ trong tụ điện (W);

C là dung kháng của tụ điện (F);

U là điện áp giữa hai đầu tụ điện (V).

Trong hệ thống thu năng lượng, điện áp và dòng điện ngõ ra của MFC là rất thấp. Do đó, để tăng công suất phát ra từ MFC, các tụ điện sẽ được bố trí thành các nhóm nối tiếp (tăng điện áp) hay song song (tăng dòng điện). Hiện tại, có năm kỹ thuật nạp/xả đã từng được nghiên cứu: nạp trực tiếp, thu năng lượng không liên tục (nạp không liên tục), nạp/xả luân phiên, nạp tụ song song trong khi xả tụ nối tiếp và nạp điện cực điện dung (Dewan *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2011; Liang *et al.*, 2011; Grondin *et al.*, 2012; Deeke *et al.*, 2012).

Mạch thu năng lượng sử dụng tụ điện có ưu điểm là cấu tạo đơn giản và dễ dàng sử dụng. Tuy nhiên, nhược điểm của mạch là sự giới hạn điện áp ngõ ra. Điện áp ngõ ra của tụ điện sẽ bằng điện áp của MFC (Zhang *et al.*, 2012). Vì thế, việc kết hợp nhiều MFC có thể được sử dụng để nạp cho tụ điện nhằm để đạt được điện áp ngõ ra lớn hơn. Một trong những ứng dụng thành công của hệ thống này là robot tự hành (Ecobot) (Ieropoulos *et al.*, 2012). Bằng cách áp dụng kỹ thuật thu năng lượng tương tự, những nghiên cứu khác cũng đã được thực hiện

để cấp điện cho bộ truyền động “nhịp tim nhân tạo” và sạc điện thoại di động (Ieropoulos *et al.*, 2013; Walters *et al.*, 2013).

Phương pháp thu năng lượng không liên tục (nạp không liên tục) thu năng lượng từ MFC vào tụ điện và xả năng lượng đến tải. Chế độ làm việc này phát công suất dưới dạng các xung không liên tục khi nguồn không có khả năng để cung cấp năng lượng liên tục cho tải. So sánh với phương pháp thu năng lượng liên tục truyền thống, một nghiên cứu đã chỉ ra rằng phương pháp thu năng lượng không liên tục thu được 152 μW từ 500 mL của MFC hai buồng ngăn, cao hơn 111% so với việc thu năng lượng liên tục (72 μW) (Dewan *et al.*, 2009). Sự ảnh hưởng của tần số nạp và xả trong chế độ nạp không liên tục có thể ảnh hưởng đến đặc tính của hệ thống và nó được đề nghị rằng tần số thấp hơn sẽ dẫn đến dòng điện ngõ ra và việc loại bỏ nhu cầu oxy hóa cao hơn (Ren *et al.*, 2013). Tương tự, việc khóa các MFC từ song song nối tiếp sẽ làm giảm một nửa thời gian nạp tụ và tăng dòng điện phát ra 35% so với các MFC chỉ kết nối tiếp (Papaharalabos *et al.*, 2014). Trong chế độ nạp/xả luân phiên, trước tiên MFC sẽ nạp tụ và sau đó tụ sẽ xả năng lượng cho tế bào điện phân vi khuẩn (MEC) hoạt động. Chế độ nạp/xả luân phiên có thể tăng dòng điện 22-32% so với chế độ nạp không liên tục (Liang *et al.*, 2011). Tuy nhiên, mật độ công suất trong chế độ nạp/xả luân phiên thấp hơn trong chế độ nạp không liên tục.

Điện áp ngõ ra có thể tăng lên khi nạp một dãy tụ điện kết nối song song và xả năng lượng khi kết nối nối tiếp. Bằng cách sử dụng hai nhóm tụ điện sạc xả luân phiên, điện áp ngõ ra có thể tăng từ 0,7 V lên 2,5 V (Kim *et al.*, 2011). Phương pháp này không yêu cầu ngưỡng điện áp nhỏ nhất và nó cũng làm giảm một cách hiệu quả điện áp ngược khi bỏ qua tổn thất năng lượng trong mạch. Một nghiên cứu khác sử dụng ba tụ điện được sạc bởi ba MFC riêng biệt và sau đó liên kết chúng thành chuỗi nối tiếp để cấp nguồn cho một hệ thống lắng đọng điện hóa (Liu *et al.*, 2014).

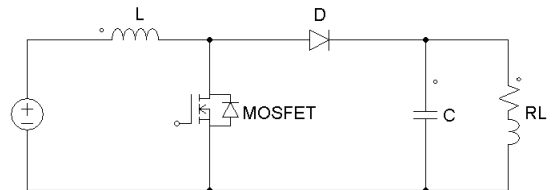
3.2 Hệ thống bơm điện tích

Bơm điện tích là một thiết bị có cấu tạo đơn giản và chi phí thấp. Về cơ bản, bơm điện tích là một bộ chuyển đổi DC/DC không chứa cuộn cảm. Bơm điện tích sử dụng tụ điện để tích trữ và truyền tải năng lượng để phát ra điện áp cao hơn hoặc thấp hơn. Đầu tiên, tụ sẽ được sạc bởi MFC và sau đó các tụ được kết nối nối tiếp theo những cách khác nhau để đạt được những mức điện áp ngõ ra khác nhau. Tiêu biểu là bơm điện tích nối tiếp S-882Z của hãng Seiko Instruments, nó yêu cầu điện áp ngõ vào nhỏ nhất là 0,3 V nhằm để đạt được điện áp ngõ ra

từ 1,8 – 2,4 V (Seiko Instruments Inc., 2007). Bơm điện tích tiêu thụ dòng điện nhỏ nhất là 0,1 – 0,5 mA trong quá trình vận hành với điện áp ngõ vào là 0,3 – 0,6 V. Với dòng điện sạc nhỏ như thế thì thời gian sạc/xả sẽ dài hơn và hiệu suất thu năng lượng cũng thấp hơn (Wang *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2012). Khi bơm điện tích hoạt động trong vùng dòng điện thấp trong đường cong công suất thì công suất thu được sẽ không là công suất cực đại. Vì thế, bơm điện tích có thể thích nghi với các MFC có điện áp ngõ ra thấp và được sử dụng cho các tải yêu cầu việc cung cấp năng lượng không liên tục. Đặc tính của bơm điện tích có thể được cải thiện khi dòng điện ngõ vào tăng (Zhang *et al.*, 2011; Karra *et al.*, 2014). Điện áp ngõ ra của bơm điện tích đôi khi không đủ lớn để đáp ứng yêu cầu của các thiết bị điện tử công suất. Do đó, bơm điện tích cần có sự hỗ trợ của các mạch tăng áp.

3.3 Mạch tăng áp

Về cơ bản, cấu tạo của một mạch tăng áp bao gồm cuộn cảm, tụ điện, MOSFET hoặc transistor và diode, tất cả các thiết bị này được bố trí như trong Hình 4 (Muhammad *et al.*, 2014).



Hình 4: Mạch tăng áp

Mạch tăng áp DC/DC là một thiết bị dùng để chuyển đổi điện áp một chiều từ một mức điện áp thấp lên một mức điện áp cao hơn. Giả sử tụ điện, C, được nạp đầy năng lượng ở trạng thái ban đầu. Hoạt động của mạch tăng áp như sau:

- Khi MOSFET đóng: cuộn dây, L, tích trữ năng lượng; tụ điện, C, giải phóng năng lượng cung cấp cho tải; $u_o = u_C$.
- Khi MOSFET ngắt: cuộn dây, L, giải phóng năng lượng; tụ điện, C, nạp năng lượng; $u_o = u_L + U_i$.

Điện áp ngõ ra của mạch tăng áp DC/DC có thể điều chỉnh được theo phương trình:

$$U_o = \frac{U_i}{1-d} \quad (4)$$

Trong đó:

U_o : điện áp ngõ ra của mạch tăng áp DC/DC (V);

U_i : điện áp ngõ vào của mạch tăng áp DC/DC (V);

d : tỷ lệ làm việc và được xác định theo phương trình (5):

$$d = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} \quad (5)$$

t_{ON} : thời gian đóng của MOSFET;

t_{OFF} : thời gian ngắt của MOSFET.

Theo như phương trình (4) và (5), điện áp ngõ ra của mạch tăng áp được điều chỉnh thông qua tỷ lệ làm việc, d , bằng cách điều khiển thời gian đóng/ngắt của MOSFET. Giá trị của cuộn cảm và tụ điện sẽ được tính toán để đảm bảo dòng điện và điện áp ngõ ra là liên tục. Đây là yêu cầu cần thiết để đảm bảo cho các thiết bị (tải điện) hoạt động ổn định và nâng cao tuổi thọ. Các mạch tăng áp được sử dụng để điều khiển tốc độ của động cơ DC, trong hệ thống điện gió và mặt trời công suất nhỏ. Gần đây, bộ tăng áp đã được nghiên cứu trong những ứng dụng công suất và điện áp rất nhỏ. Một trong những ứng dụng đó là mạch thu năng lượng từ MFC. Điện áp của MFC sau khi qua mạch tăng áp có thể được điều khiển để đạt được mức điện áp yêu cầu của tải điện, thường là 3,3 V hoặc 5 V (Shantaram *et al.*, 2005; Donovan *et al.*, 2008). Đây là ưu điểm của mạch tăng áp so với việc chỉ sử dụng đơn thuần tụ điện hoặc bơm điện tích để thu năng lượng từ MFC (Meehan *et al.*, 2011). Điện áp ngõ ra của MFC lúc hở mạch thường là rất thấp, khoảng 0,7 - 0,8 V. Điện áp của MFC sẽ bị giảm trong quá trình thu năng lượng. Do đó, không phải mạch tăng áp nào cũng có thể hoạt động trong điều kiện này. Hiện tại, có hai loại mạch tăng áp có thể hoạt động trong điều kiện điện áp rất thấp đó là LTC3108 (0,02 V) và TPS61200/TPS1201 (0,3 V). Để tăng điện áp ngõ ra của MFC có thể ghép nối tiếp các MFC lại với nhau, sau đó sẽ cho đi qua mạch tăng áp. Tuy nhiên, việc ghép nối tiếp các MFC có thể gây ra vấn đề của điện áp ngược. Vấn đề này có thể được giải quyết bằng các sử dụng tụ điện, pin có thể sạc,... đặt trước MFC. Các tụ điện hoặc pin sạc này sẽ thu và tích trữ năng lượng từ MFC, sau đó sẽ tăng áp thông qua mạch tăng áp (Shantaram *et al.*, 2005). Bên cạnh đó, các tụ điện sau khi được sạc từ MFC sẽ được ghép nối tiếp lại với nhau trước khi qua mạch tăng áp nhằm để đạt được điện áp ngõ ra cao hơn (McBride *et al.*, 2006). Để đạt được hiệu suất cao hơn, hệ thống thu năng lượng từ MFC có thể kết hợp cả hai bơm điện tích và mạch tăng áp, hệ thống này được ứng dụng trong MFC sử dụng vi sinh vật ở đáy biển (BMFC) (Nielsen *et al.*, 2009; Donovan *et al.*, 2011; Karra

et al., 2014). Trước tiên, bơm điện tích sẽ thu năng lượng từ BMFC với dòng điện rất thấp, sau đó điện áp sẽ được tăng lên thông qua mạch tăng áp để cung cấp công suất không liên tục cho các sensor không dây hoặc các hệ thống viễn trắc (Donovan *et al.*, 2008; Meehan *et al.*, 2011).

Với việc sử dụng mạch tăng áp, mạch tăng áp kết hợp với tụ điện, pin sạc và bơm điện tích sẽ thu được năng lượng phát ra từ MFC và sử dụng được trong thực tiễn. Tuy nhiên, năng lượng thu được từ MFC theo các phương pháp trên chưa phải là năng lượng cực đại vì đặc tính hoạt động của MFC phụ thuộc vào điều kiện môi trường. Tương tự so với mạch tăng áp trong hệ thống điện mặt trời, để thu được công suất phát ra lớn nhất từ các tấm pin mặt trời khi điều kiện thời tiết thay đổi, các thuật toán dò tìm điểm công suất cực đại (MPPT) sẽ được sử dụng, các thuật toán có thể là nhiễu và quan sát (P&O), điện dẫn gia tăng (Inc), điện áp hở mạch,... (Trishan and Patrick, 2007; Marcelo and Ernesto, 2009). Các thuật toán này sẽ được tích hợp vào mạch điều khiển của mạch tăng áp thông qua việc điều khiển đóng/ngắt MOSFET. Điện áp phát ra từ MFC cũng sẽ dao động tùy theo điều kiện môi trường, để thu được năng lượng cực đại từ MFC, có thể áp dụng các thuật toán MPPT trên và nguyên tắc hoạt động của mạch thu năng lượng cũng giống như mạch tăng áp trong hệ thống điện mặt trời (Woodward *et al.*, 2010; Pinto *et al.*, 2011; Degrenne *et al.*, 2012). Khi MOSFET đóng, mạch hoạt động ở chế độ sạc, năng lượng của MFC được tích trữ trong cuộn dây. Khi MOSFET ngắt, mạch hoạt động ở chế độ xả, năng lượng từ cuộn cảm được nạp vào tụ điện và tụ điện sẽ cung cấp năng lượng cho tải. Trong mạch tăng áp nói trên, nếu diode Silic được sử dụng, hiệu suất của mạch sẽ giảm do tổn thất và rơi áp trên diode này khá lớn (0,7 V). Để cải thiện vấn đề này thì diode silic sẽ được thay thế bằng diode Schottky (rơi áp 0,15 - 0,4 V) hoặc MOSFET (Park and Ren, 2012). Kỹ thuật thu năng lượng cực đại MPPT dựa trên mạch tăng áp sẽ thu được năng lượng từ MFC một cách chủ động, có thể sử dụng được và không có vấn đề của điện áp ngược. Đối với mạch thu năng lượng dựa trên điện trở ngoài, mạch này chỉ chứng minh được rằng MFC có thể phát công suất cực đại nhưng công suất này không sử dụng được. Đây chính là những điểm khác biệt giữa hai phương pháp. Sử dụng kỹ thuật MPPT kết hợp với mạch tăng áp, năng lượng thu được gấp 76 lần so với bơm điện tích Seiko và hiệu suất chuyển đổi tăng 21 lần (Wang *et al.*, 2012).

4 KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày được tổng quan các kỹ thuật thu năng lượng từ MFC. Các kỹ thuật đơn

giản dễ thực hiện nhưng mang lại hiệu quả thu năng lượng thấp, điện áp phát ra không đạt yêu cầu hoặc gặp những vấn đề của điện áp ngược như kỹ thuật thu năng lượng sử dụng tụ điện hay sử dụng bơm điện tích. Để cải thiện được các vấn đề này thì các kỹ thuật thu năng lượng phức tạp hơn được sử dụng như kỹ thuật thu năng lượng sử dụng mạch tăng áp hay là kết hợp mạch tăng áp với kỹ thuật MPPT. Bởi vì điện áp và công suất phát ra từ MFC là rất nhỏ, do đó vấn đề được đặt ra là phải thu được năng lượng lớn nhất, có thể sử dụng được và tồn thất trên mạch phải nhỏ nhất. Đây thực sự là một thử thách lớn đối với các nhà nghiên cứu hiện nay. Các linh kiện điện tử như tụ điện, cuộn dây, MOSFET, transistor và diode được chế tạo chủ yếu cho các mạch điện tử với công suất lớn hơn rất nhiều so với MFC và tồn thất trên các linh kiện này cũng khá lớn so với công suất phát ra của MFC. Do đó, để MFC có thể ứng dụng trong thực tế không chỉ là yêu cầu cấp thiết đối với các nhà nghiên cứu sinh học, hóa học mà còn là yêu cầu cấp thiết đối với các nhà nghiên cứu vật liệu nhằm đề tạo ra những vật liệu, những linh kiện có thể hoạt động được với điện áp và công suất rất thấp với hiệu suất cao nhất. Bên cạnh đó, việc chế tạo các MFC và các mạch thu năng lượng có thể hoạt động độc lập cũng là một yêu cầu rất cần thiết nhằm để cấp năng lượng cho những sensor, những cảm biến đo lường ở những nơi xa xôi không có nguồn cung cấp điện. Trong MFC, ngoài việc tồn thất trên mạch thu năng lượng thì công suất cung cấp cho mạch điều khiển của mạch thu năng lượng cũng là một vấn đề đáng quan tâm. Một vấn đề cuối cùng đó là việc nâng cao công suất của MFC. Hiện tại, công suất của MFC không tuyến tính với kích thước của nó. Điều này có nghĩa rằng, việc tăng kích thước của MFC sẽ không làm tăng đáng kể công suất của MFC.

LỜI CẢM ƠN

Đề tài này được tài trợ bởi Dự án Nâng cấp Trường Đại học Cần Thơ VN14-P6 bằng nguồn vốn vay ODA từ chính phủ Nhật Bản.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Aelterman, P., Rabaey, K., Pham, H.T., Boon, N., and Verstraete, W., 2006. Continuous electricity generation at high voltages and currents using stacked microbial fuel cells. *Environmental Science & Technology*. 40(10): 3388-3394.

Akdeniz, F., Caglar, A., and Gullu, D., 2002. Recent energy investigations on fossil and alternative nonfossil resources in Turke. *Energy Conversion and Management*. 43(4): 575-589.

Antonopoulou, G., Stamatelatou, K., Bebelis, S., and Lyberatos, G., 2010. Electricity generation from synthetic substrates and cheese whey using a two

chamber microbial fuel cell. *Biochemical Engineering Journal*. 50(1-2): 10-15.

Deeke, A., Sleutels, T.H., Hamelers, H.V.M., and Buisman, C.J.N., 2012. Capacitive bioanodes enable renewable energy storage in microbial fuel cells. *Environmental Science & Technology*. 46(6): 3554-3560.

Degrenne, N., Buret, F., Allard, B., and Bevilacqua, P., 2012. Electrical energy generation from a large number of microbial fuel cells operating at maximum power point electrical load. *Journal of Power Sources*. 205: 188-193.

Dewan, A., Beyenal, H., and Lewandowski, Z., 2009. Intermittent energy harvesting improves the performance of microbial fuel cells. *Environmental Science & Technology*. 43(12): 4600-4605.

Dewan, A., Donovan, C., Heo, D., and Beyenal, H., 2010. Evaluating the performance of microbial fuel cells powering electronic devices. *Journal of Power Sources*. 195(1): 90-96.

Donovan, C., Dewan, A., Heo, D., and Beyenal, H., 2008. Batteryless, wireless sensor powered by a sediment microbial fuel cell. *Environmental Science & Technology*. 42(22): 8591-8596.

Donovan, C., Dewan, A., Peng, H., Heo, D., and Beyenal, H., 2011. Power management system for a 2.5 W remote sensor powered by a sediment microbial fuel cell. *Journal of Power Sources*. 196(3): 1171-1177.

Du, Z., Li, H., and Gu, T., 2007. A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy. *Biotechnology Advances*. 25(5): 464-482.

Erbay, C., Bautista, S. C., Sinencio, E. S., and Han, A., 2014. High performance monolithic power management system with dynamic maximum power point tracking for microbial fuel cells. *Environmental Science & Technology*. 48(23): 13992-13999.

Ghasemi, M., Wan, W.R., Ismail, M., et al., 2013. Effect of pre-treatment and biofouling of proton exchange membrane on microbial fuel cell performance. *International Journal of Hydrogen Energy*. 38(13): 5480-5484.

Grondin, F., Perrier, M., and Tartakovsky, B., 2012. Microbial fuel cell operation with intermittent connection of the electrical load. *Journal of Power Sources*. 208(15): 18-23.

Ieropoulos, I.A., Greenman, J., Melhuish, C., and Horsfield, I., 2012. Microbial fuel cells for robotics: Energy autonomy through artificial symbiosis. *ChemSusChem*. 5(6): 1020-1026.

Ieropoulos, I.A., Ledezma, P., Stinchcombe, A., Papaharalabos, G., Melhuish, C., and Greenman, J., 2013. Waste to real energy: The first MFC powered mobile phone. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 15(37): 15312-15316.

- Karra, U., Muto, E., Umaz, R., Köllna, M., Santoro, C., Wang, L., and Li, B., 2014. Performance evaluation of activated carbon-based electrodes with novel power management system for long-term benthic microbial fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 39(36): 21847-21856.
- Kim, Y., Hatzell, M.C., Hutchinson, A.J., and Logan, B.E., 2011. Capturing power at higher voltages from arrays of microbial fuel cells without voltage resersal. *Energy & Environmental Science*. 4(11): 4662-4667.
- Liang, P., Wu, W., Wei, J., Yuan, L., Xia X., and Huang, X., 2011. Alternate charging and discharging of capacitor to enhance the electron production of bioelectrochemical systems. *Environmental Science & Technology*. 45(15): 6647-6653.
- Liu, J., Feng, Y., He, W., Gong, Y., Qu, Y., and Ren, N., 2014. A novel boost circuit design and in situ electricity application for elemental sulfur recovery. *Journal of Power Sources*. 248: 317-322.
- Logan, B.E., Hamelers, B., and Rozendal R., 2006. Microbial fuel cells: Methodology and technology. *Environmental Science & Technology*. 40(17): 5181-5192.
- Marcelo G.V. and Ernesto R.F. Analysis and simulation of the P&O MPPT algorithm using a linearized PV array model. 2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, 3-5 Nov. 2009, Porto, Portugal. IEEE. 231-236.
- McBride, L.R., Girguis, P., and Reimers, C.E., 2006. Power storage and conversion from an ocean microbial energy source. *OCEANS 2006*, 18-21 Sept. 2006, Boston, MA, USA. IEEE. 1-5.
- Meehan, A., Gao, H., and Lewandowski, Z., 2011. Energy harvesting with microbial fuel cell and power management system. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 26(1): 176-181.
- Muhammad, H.R., Narendra, K., and Ashish, R.K., 2014. *Power electronics: Devices, Circuits, and Application*, Fourth Edition. Pearson. 1027 pages.
- Nielsen, M.E., Wu, D.M., Girguis, P.R., and Reimers, C.E., 2009. Influence of substrate on electron transfer mechanisms in chambered benthic microbial fuel cells. *Environmental Science & Technology*. 43(22): 8671-8677.
- Papaharalabos, G., Greenman, J., Stinchcombe, A., Horsfield, I., Melhuish, C., and Ieropoulos, I., 2014. Dynamic electrical reconfiguration for improved capacitor charging in microbial fuel cell stacks. *Journal of Power Sources*. 272: 34-38.
- Park, J.D., and Ren, Z., 2012. Hysteresis controller based maximum power point tracking energy harvesting system for microbial fuel cells. *Journal of Power Sources*. 205(9): 151-156.
- Park, J.D. and Ren, Z., 2012. High efficiency energy harvesting from microbial fuel cells using a synchronous boost converter. *Journal of Power Sources*. 208: 322-327.
- Peighambaroust, S., Rowshanzamir, S., and Amjadi, M., 2010. Review of the proton exchange membranes for fuel cell application. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35(17): 9349-9384.
- Pinto, R.P., Srinivasan, B., Guiot, S.R., and Tartakovsky, B., 2011. The effect of real-time external resistance optimization on microbial fuel cell performance. *Water Research*. 45(4): 1571-1578. Rahimnejad, M., Mokhtarian, N., Najafpour, G., Ghoreyshi, A., and Dahud, W., 2009. Effective parameters on performance of microbial fuel cell. 2009 Second International Conference on Environmental and Computer Science, 28-30 Dec. 2009, Dubai, United Arab Emirates. IEEE. 1: 411-415.
- Rahimnejad, M., Ghoreyshi, A.A., and Najafpour, G., 2011. Power generation from organic substrate in batch and continuous flow microbial fuel cell operations. *Applied Energy*. 88(11): 3999-4004.
- Rahimnejad, M., Ghoreyshi, A., Najafpour, G., Younesi, H., and Shakeri, M., 2012. A novel microbial fuel cell stack for continuous production of clean energy. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(7): 5992-6000.
- Rahimnejad, M., Adhami, A., Darvari, S., Zirepour, A., and Oh, S.E., 2015. Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review. *Alexandria Engineering Journal*. 54(3): 745-756. Ren, S., Xia, X., Yuan, L., Liang, P., and Huang, X., 2013. Enhancing charge harvest from microbial fuel cells by controlling the charging and discharging frequency of capacitors. *Bioresource Technology*. 146: 812-815.
- Shantaram, A., Beyenal, H., Raajan, R., Veluchamy, A., and Lewandowski, Z., 2005. Wireless sensors powered by microbial fuel cells. *Environmental Science & Technology*. 39(13): 5037-5042.
- Seiko Instruments Inc., Ultra low voltage operation charge pump ic for step up DC-DC converter startup, S_882Z Datasheet, Dec. 2007.
- Trishan, E. and Patrick, L.C., 2007. Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *ieee transactions on energy conversion*. 22(2): 439-449.
- Walters, P., Lewis, A., Stinchcombe, A., Stephenson, R., and Ieropoulos, I., 2013. Artificial heartbeat: Design and fabrication of a biologically inspired pump. *Bioinspiration & Biomimetics*. 8(4): 046012. Wang, H., Park, J.D., and Ren, Z., 2012. Active energy harvesting from microbial fuel cells at the maximum power point without using resistors. *Environmental Science & Technology*. 46(9): 5247-5252.
- Wang, H. and Ren, Z., 2014. Bioelectrochemical metal recovery from wastewater: A review. *Water Research*. 66: 219-232.

- Wang, H., Park, J.D., and Ren, Z.J., 2015. Practical energy harvesting for microbial fuel cells: A review. *Environmental Science & Technology*. 49(6): 3267-3277.
- Woodward, L., Perrier, M., Srinivasan, B., Pinto, R.P., and Tartakovsky, B., 2010. Comparison of real-time methods for maximizing power output in microbial fuel cells. *AIChE Journal*. 56(10): 2742-2750.
- Xia, C.S., Zhang, D.X., Pedrycz, W., Zhu, Y.M., and Guo, Y.X., 2018. Models for microbial fuel cells: A critical review. *Journal of Power Sources*. 373: 119-131.
- Yang, F., Zhang, D., Shimotori, T., Wang, K.C., and Huang, Y., 2012. Study of transformer-based power management system and its performance optimization for microbial fuel cells. *Journal of Power Sources*. 205: 86-92.
- Zhang, D., Yang, F., Shimotori, T., Wang, K.C., and Huang, Y., 2012. Performance evaluation of power management systems in microbial fuel cell-based energy harvesting applications for driving small electronic devices. *Journal of Power Sources*. 217: 65-71.
- Zhang, F., Tian, L., and He, Z., 2011. Powering a wireless temperature sensor using sediment microbial fuel cells with vertical arrangement of electrodes. *Journal of Power Sources*. 196(22): 9568-9573.