

## Nâng cao hiệu suất chuyển đổi điện áp một chiều với cấu trúc bậc cao tận dụng cảm kháng ký sinh dùng cho sạc pin Li-ion

Lưu Thị Thu Hồng<sup>1\*</sup>, Phạm Trường<sup>1</sup>, Nguyễn Thùy Linh<sup>1</sup>,  
Hà Thị Phương<sup>2</sup>, Nguyễn Văn Trung<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Học viện Kỹ thuật quân sự;

<sup>2</sup>Khoa Điện tử, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.

\*Email: [tuhong.11@gmail.com](mailto:tuhong.11@gmail.com).

Nhận bài ngày 12/01/2022; Hoàn thiện ngày 15/3/2022; Chấp nhận đăng ngày 29/3/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.78.2022.49-57>

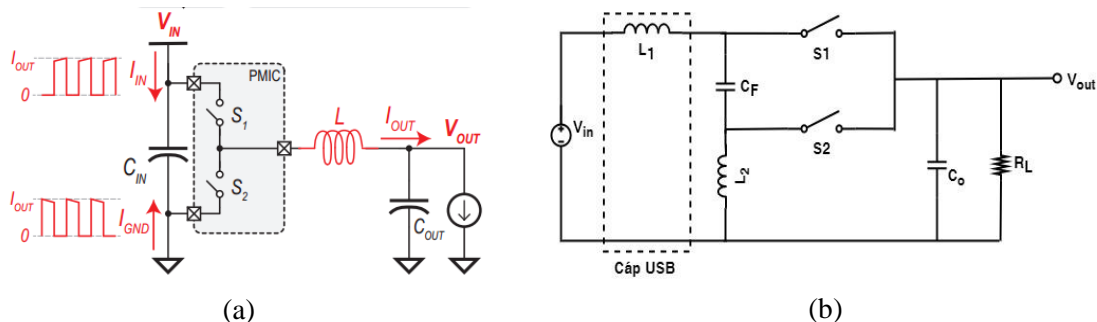
### TÓM TẮT

Bài báo này sẽ trình bày một cấu trúc bộ hạ áp một chiều bậc cao ứng dụng cho các bộ sạc pin Li-ion, tận dụng cảm kháng ký sinh trong cáp USB đóng vai trò cuộn cảm. Cấu trúc này cung cấp hiệu suất chuyển đổi cao, dải chuyển đổi rộng như cấu trúc Buck truyền thống. Dòng điện đầu vào có dạng liên tục giúp giảm nhiễu và nhiễu điện từ (EMI) khi chuyển mạch. Cấu trúc đề xuất được đánh giá với thiết kế cho bộ sạc pin Li-ion sử dụng cáp sạc USB type-C loại 1 m. Kết quả mô phỏng cho thấy hiệu suất lớn nhất mà cấu trúc đề xuất có thể đạt được là 95% cao hơn 8% so với mạch truyền thống ở cùng điều kiện.

**Từ khóa:** Bộ chuyển đổi DC-DC; Bộ chuyển đổi Buck; Bộ chuyển đổi bậc cao; Pin Li-ion, Sạc nhanh.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xu hướng của các thiết bị di động hiện nay là kích thước ngày càng nhỏ gọn, nhiều chức năng phức tạp được tích hợp và có khả năng sạc pin nhanh với dòng sạc lớn. Do đó, yêu cầu đặt ra đối với bộ chuyển đổi là hiệu suất cao với dòng tải lớn và có mật độ công suất cao. Xem xét các mạch sạc pin di động, bộ chuyển đổi kiểu low dropout (LDO) [1, 2] đã được sử dụng phổ biến nhưng nó gặp vấn đề tăng nhiệt nghiêm trọng khi công suất dòng điện cho sạc pin tăng lên. Gần đây, các cấu trúc kết hợp của chuyển mạch cuộn cảm (SI – *Switch Inductor*), chuyển mạch tụ điện (SC – *Switch Capacitor*) và mạch nhiều mức được tập trung nghiên cứu [3-10]. Các cấu trúc này cho thấy hiệu suất tốt phù hợp với các ứng dụng sạc pin nhanh. Tuy nhiên, với cuộn cảm nằm ở phía đầu ra bộ chuyển đổi khi yêu cầu dòng sạc đầu ra tiếp tục tăng để sạc nhanh hơn, cuộn cảm cần có dòng bão hòa đủ lớn và điện trở ký sinh nhỏ để duy trì được hiệu suất cao. Hai yêu cầu này đều đòi hỏi kích thước cuộn cảm lớn. Điều này được khắc phục bằng cách chia dòng tải thành nhiều dòng nhỏ trong cấu trúc nhiều mức [7, 10]. Nhưng lại đòi hỏi nhiều cuộn cảm hơn và vẫn gây ra vấn đề tỏa nhiệt bên trong mạch.

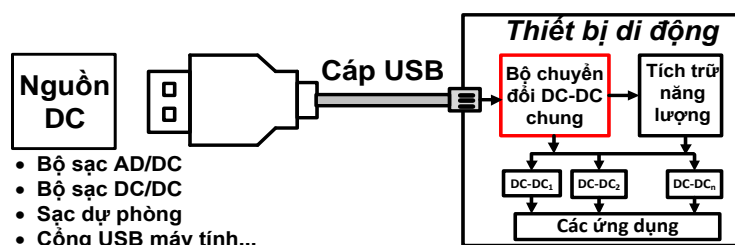


**Hình 1.** (a). Cấu trúc buck truyền thống (b). Cấu trúc đề xuất  $HO\_USB\_BUCK$ .

Mặt khác, trong các mạch chuyển đổi xuống thì dòng đầu vào luôn thấp hơn dòng đầu ra. Ý tưởng di chuyển cuộn cảm từ đầu ra về phía đầu vào để giảm tổn hao dẫn, tăng hiệu suất và giảm

yêu cầu về dòng bão hòa cuộn cảm được thực hiện trong [11, 12]. Ngoài ra, trong các cấu trúc tương tự mạch Buck truyền thống (hình 1.a), dòng điện đầu vào có dạng xung gây ra nhiễu và EMI lớn trong quá trình chuyển mạch. Khi cuộn cảm được di chuyển tới đầu vào, dòng điện đầu vào có dạng liên tục giúp làm giảm nhiễu và EMI đáng kể.

Trong các mạch chuyển đổi một chiều, cuộn cảm là một thành phần không thể thiếu. Trong khi đó, các cáp sạc USB luôn có các giá trị ký sinh R, L, C mà trong các thiết kế thường phải tìm cách loại bỏ. Ý tưởng sử dụng cảm kháng ký sinh này đóng vai trò các cuộn cảm của bộ chuyển đổi đã được thực hiện trong [12] làm giảm kích thước mạch đáng kể. Tuy nhiên, cấu trúc này có hệ số chuyển đổi điện áp hẹp không phù hợp khi mở rộng dải điện áp đầu vào. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất sử dụng một cấu trúc bậc cao với cuộn cảm đặt ở phía đầu vào [11] và sử dụng giá trị điện cảm ký sinh trên cáp sạc USB như một phần của mạch (hình 1.b). Cấu trúc đề xuất được gọi là HO\_USB\_BUCK (*High-order\_USB\_BUCK*). Hình 2 minh họa ứng dụng của thiết kế.



Hình 2. Minh họa ứng dụng của thiết kế.

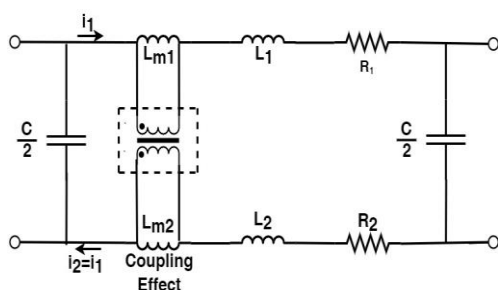
Tiếp theo, phần 2 sẽ trình bày cụ thể về cấu trúc đề xuất, hoạt động, ưu nhược điểm, cách tính toán thiết kế mạch. Các kết quả mô phỏng và thảo luận trong phần 3.

## 2. CẤU TRÚC MẠCH HO\_USB\_BUCK ĐỀ XUẤT

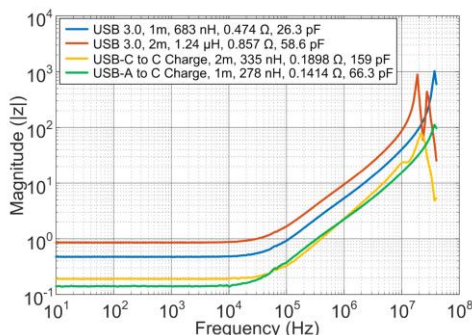
Để sử dụng cáp USB như một thành phần của mạch, ta xem xét mô hình đường truyền áp dụng cho cáp (Hình 3). Điện cảm ký sinh tổng cộng của cáp có thể được tính theo biểu thức sau [14]:

$$L = (L_1 + L_{m1}) + (L_2 - L_{m2}) = 4.10^{-7} \ln(D_b / e^{-1/4} r_l) l_l \quad (1)$$

với  $D_b$ ,  $r_l$  và  $l_l$  là khoảng cách giữa hai dây, bán kính dây và chiều dài cáp. Hình dạng cáp không ảnh hưởng đến giá trị ký sinh của cáp [13]. Giá trị ký sinh của cáp chỉ phụ thuộc vào chiều dài cáp và đường kính cáp, kết quả đo các giá trị ký sinh như trong hình 4 [12]. Có thể thấy, cảm kháng cáp là đáng kể trong khi điện dung shunt tương đương được bỏ qua khi  $f < 10$  MHz với cáp USB. Trong cấu trúc đề xuất (hình 1.b), cảm kháng ký sinh của cáp USB đóng vai trò cuộn cảm  $L_1$ .



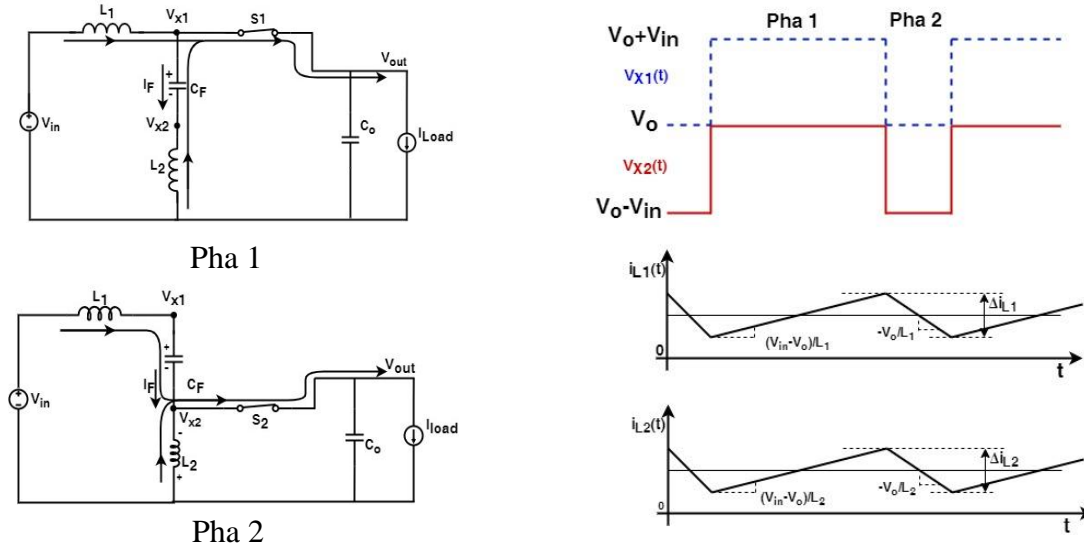
Hình 3. Mô hình mạch tương đương của cáp cho chuyển đổi công suất [14].



Hình 4. Kết quả đo trở kháng cáp USB [12].

Ở trạng thái tĩnh, hoạt động của mạch được chia thành hai pha như trong hình 5. Pha 1,  $S_1$  được bật trong thời gian  $D \cdot T_{sw}$  điện áp tại các nút chuyển mạch  $V_{X1} = V_{out}$  và  $V_{X2} = V_{in} - V_F$ . Trong pha 2,  $S_2$  được bật trong thời gian  $(1-D) \cdot T_{sw}$  điện áp  $V_{X1} = V_{in} - V_F - V_{out}$  và  $V_{X2} = V_{out}$ . Áp dụng điều kiện cân bằng từ thông cho hai cuộn cảm  $L_1$  và  $L_2$  ta có:

$$\begin{aligned} L_1 : (V_{in} - V_{out})D + (V_{in} - V_F - V_{out})(1 - D) &= 0 \\ L_2 : (V_{out} - V_F)D + V_{out}(1 - D) &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$



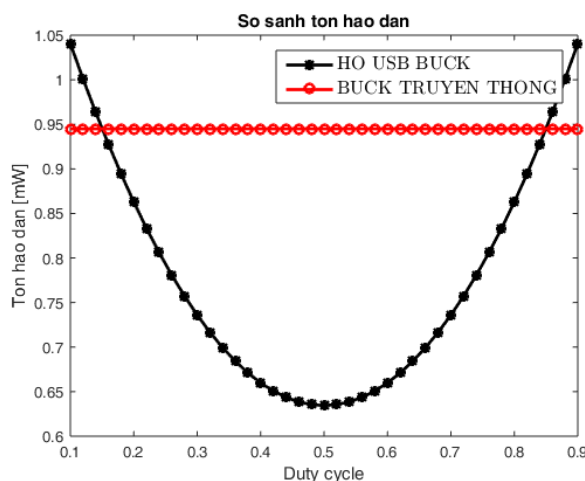
Hình 5. Hoạt động ở trạng thái tĩnh của HO\_USB\_BUCK.

Từ (2) rút ra:  $V_F = V_{in}$  và  $V_{out} = DV_{in}$ , tức  $M=D$  như trong mạch Buck truyền thống với  $D$  là chu kỳ nhiệm vụ (*Duty cycle*) của chuyển mạch  $S_1$ . Như vậy, cấu trúc này đảm bảo mối quan hệ chuyển đổi rộng giữa điện áp vào và điện áp ra như mạch Buck truyền thống. Tụ bay  $C_F$  (*flying capacitor*) có giá trị điện áp đặt lên nó là cố định bằng  $V_{in}$ . Bộ chuyển đổi có hai nút chuyển mạch ở mặt trên và mặt dưới của tụ bay với giá trị điện áp lần lượt là  $V_{X1}$  và  $V_{X2}$ . Dòng điện đầu vào chính là dòng  $i_{L_1}$  có dạng liên tục giúp giảm nhiễu và EMI trong mạch.

Trong pha 1,  $S_1$  được bật,  $V_{X1} = V_{out}$ , tương ứng  $V_{X2} = V_{out} - V_{in}$ . Trong pha 2,  $S_2$  được bật,  $V_{X2} = V_{out}$  và  $V_{X1} = V_{out} + V_{in}$ . Có thể thấy, điện áp đặt lên hai đầu chuyển mạch  $S_1$  và  $S_2$  là giống như trong mạch Buck truyền thống. Vì vậy, tổn hao chuyển mạch không tăng so với mạch Buck truyền thống. Mà dòng qua  $L_1$  và  $L_2$  có giá trị trung bình lần lượt là  $DI_o$ ,  $(1 - D)I_o$ . Trong khi ở mạch Buck truyền thống dòng trung bình qua cuộn dây là  $I_o$ . Do đó, tổn hao dẫn được giảm bằng  $(1 - 2D + 2D^2)$  lần tổn hao dẫn của Buck truyền thống (hình 6). Tại vùng  $D$  gần 0.5 là vùng mạch có hiệu suất tốt nhất. Như vậy, so với mạch Buck truyền thống, cuộn cảm đặt ở đầu vào giúp giảm tổn hao dẫn đi đáng kể. Mà tổn hao dẫn là tổn hao chủ yếu trong mạch, vì vậy, điều này giúp tăng hiệu suất của mạch.

Với cấu trúc kiểu Buck truyền thống, để giải quyết vấn đề dòng điện đầu vào có dạng xung gây nhiễu và EMI lớn khi chuyển mạch, thường phải sử dụng bộ lọc ở đầu vào với cuộn cảm có kích thước khá lớn. Mạch HO\_USB\_BUCK có dòng điện đầu vào dạng liên tục, các linh kiện  $L_1$ ,  $C_F$  và  $L_2$  vừa đóng vai trò bộ lọc đầu vào vừa chuyển đổi công suất, giúp giảm kích thước mạch. Hơn nữa, kết cấu xếp tầng của  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $C_F$  với  $L_1$  chính là cấp sạc đầu vào, có thể nối dây khá đơn

giữa chúng, việc lựa chọn bố trí có thể thu gọn kích thước thêm nữa. Ngoài ra, trong cấu trúc HO\_USB\_BUCK, tầng công suất và tải nối trực tiếp với nhau có thể dễ dàng cùng tích hợp trên một chip giúp giảm kích thước mạch. Trong cấu trúc Buck truyền thống, phần chuyển mạch và tải của nó bị ngăn cách nhau bởi cuộn cảm off-chip. Các yếu tố này làm tăng mật độ công suất cho mạch khi sử dụng HO\_USB\_BUCK. Tuy nhiên, độ gợn sóng dòng điện đầu ra bằng tổng độ gợn sóng dòng điện qua hai cuộn cảm, nên tụ điện đầu ra cần có giá trị lớn hơn để đảm bảo độ gợn sóng điện áp đầu ra.



**Hình 6.** So sánh tổn hao dẫn giữa mạch HO-USB-BUCK với mạch Buck truyền thống.

Các tính toán thiết kế cho bộ chuyển đổi phải đảm bảo các chỉ tiêu về độ gợn sóng dòng điện và điện áp ra trong mạch.

Như phân tích hoạt động ở trạng thái tĩnh trong hình 5. Độ gợn sóng dòng điện qua các cuộn dây được tính theo biểu thức sau:

$$\Delta i_{L_{1,2}} = \frac{(V_{in} - V_{out}) D}{f_{sw} L_{1,2}} \quad (3)$$

Với  $\Delta i_{L_{1,2}}$  là độ gợn sóng dòng điện trên cuộn cảm  $L_1, L_2$ ;  $L_{1,2}$  là giá trị của  $L_1$  hoặc  $L_2$  tương ứng với  $\Delta i_{L_{1,2}}$ . Với  $L_1$  là cảm kháng ký sinh trên cáp có giá trị xác định trước. Tần số chuyển mạch được lựa chọn sao cho độ gợn sóng dòng điện qua cuộn dây không vượt quá 30% giá trị trung bình của nó. Giá trị  $L_2$  được rút ra từ biểu thức (3) và độ gợn sóng dòng điện mong muốn qua  $L_2$ .

Các bóng chuyển mạch chịu điện áp  $V_{DS}$  đúng bằng điện áp  $V_{in}$ , vì vậy, tùy vào từng ứng dụng mà có lựa chọn bóng bán dẫn cho phù hợp. Tụ điện đầu ra được lựa chọn sao cho độ gợn sóng điện áp đầu ra không quá 1% điện áp đầu ra. Do điện trở ký sinh ESR (*Equivalent Series Resistance*) trên tụ có thể rất nhỏ (2÷4) mΩ nên độ gợn sóng điện áp đầu ra có thể coi như hoàn toàn trên tụ đầu ra  $C_o$ . Độ gợn sóng điện áp ra được tính dựa vào điện tích trên tụ  $C_o$  như sau:

$$\Delta V_{out} = \frac{\Delta I_{out}}{8 f_{sw} C_o} \quad (4)$$

trong đó,  $\Delta I_{out}$  là độ gợn sóng dòng điện đầu ra và  $\Delta I_o = \Delta I_{L_1} + \Delta I_{L_2}$ .

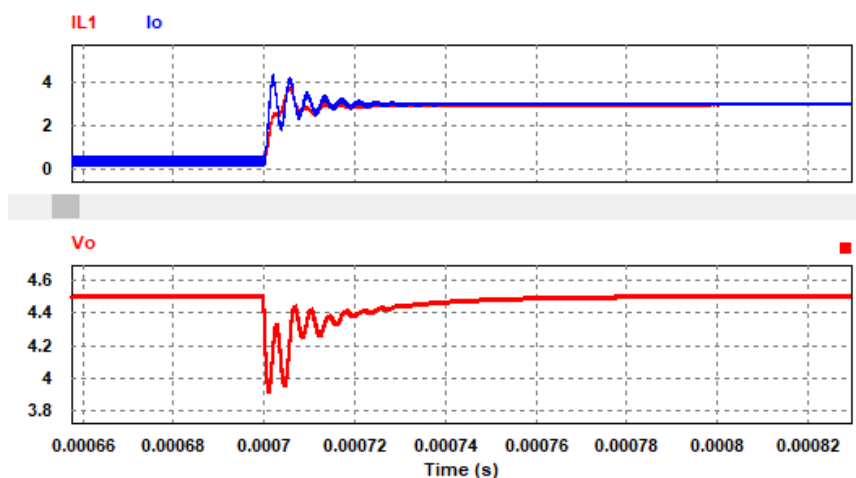
Để đánh giá hiệu quả của mạch đề xuất, chúng tôi thiết kế một bộ chuyển đổi điện áp xuống với đầu vào  $V_{in}=5$  V, đầu ra  $V_o=(2.9$  V ÷ 4.5 V),  $I_o=(0.1$  A ÷ 3 A) phù hợp với các pin Li-ion 1 cell cho thiết bị di động, sử dụng cáp sạc 1m type-C có cảm kháng ký sinh 278 nH, điện trở ký sinh 141

mΩ. Một bộ chuyển đổi xuống kiểu truyền thống để đối chứng với cùng chỉ tiêu và sử dụng cuộn cảm giá trị gấp đôi giá trị cảm kháng ký sinh của cấp 560 nH, điện trở ký sinh là 59 mΩ, kích thước 2 mm x 1.6 mm. Mạch điều khiển giống nhau được áp dụng cho cả hai cấu trúc. Áp dụng cách tính toán được trình bày ở trên và biểu thức (3), (4) tính được các giá trị linh kiện trong mạch như trong bảng 1. Kết quả mô phỏng và thảo luận được trình bày trong phần tiếp theo.

**Bảng 1.** Các giá trị linh kiện sử dụng.

Buck	L	C <sub>out</sub>	f <sub>sw</sub>	HO_USB_BUCK	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	C <sub>o</sub>	C <sub>F</sub>	f <sub>sw</sub>
	560 nH	1.1 μF	6.5 MHz		278 nH	180 nH	4.7 μF	4.7 μF	6.5 MHz

### 3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN



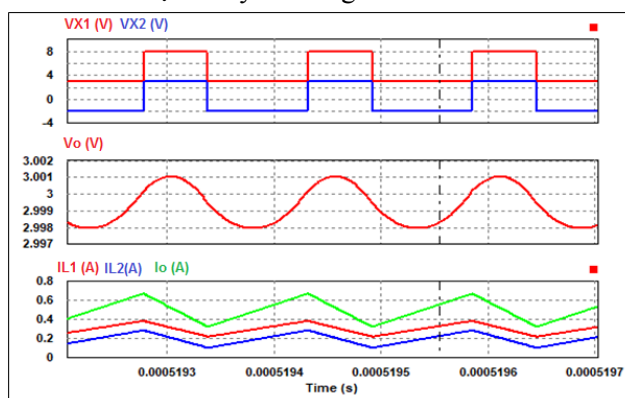
**Hình 7.** Đáp ứng quá độ bộ chuyển đổi khi tải thay đổi.

Thiết kế được đánh giá ở cấp độ mô hình trên phần mềm PSIM (Power Electronics Simulation Software), là phần mềm mô phỏng mạch điện tử, được thiết kế đặc biệt để sử dụng trong điện tử công suất và mô phỏng truyền động điện, các hệ thống chuyển đổi và điều khiển năng lượng. Bộ chuyển đổi được điều khiển vòng kín theo kiểu điều khiển chế độ điện áp. Đáp ứng quá độ khi dòng tải thay đổi từ 0.5 A lên 3 A trong hình 7 cho thấy mạch có thể điều khiển được. Tuy nhiên, phần thời gian đáp ứng quá độ tải còn lớn 20 μs, do bài báo này không tập trung vào phần tối ưu mạch điều khiển. Hình 8 là kết quả mô phỏng tương ứng trong các chế độ sạc pin khác nhau. Điện áp tại hai nút chuyển mạch, ví dụ trong trường hợp V<sub>in</sub>=5 V, V<sub>o</sub>=3 V thì V<sub>X1</sub> sẽ thay đổi giữa hai mức 3 V và 8 V, V<sub>X2</sub> thay đổi giữa hai mức điện áp 3 V và -2 V. Tương tự cho các trường hợp còn lại. Trong cả ba trường hợp, điện áp đầu ra có độ gợn sóng nhỏ hơn 1%. Dòng điện đầu vào chính là dòng qua cuộn cảm L<sub>1</sub> (IL1) có dạng liên tục. Kết quả mô phỏng cho thấy bộ chuyển đổi có thể tạo ra các giá trị điện áp ra khác nhau, với các dòng tải khác nhau đáp ứng được yêu cầu trong các chế độ sạc. HO\_USB\_BUCK có thể được sử dụng như một phần trong một bộ sạc pin Li-ion. Hiệu suất của mạch được đánh giá trên mô phỏng với các giá trị trung bình như sau:

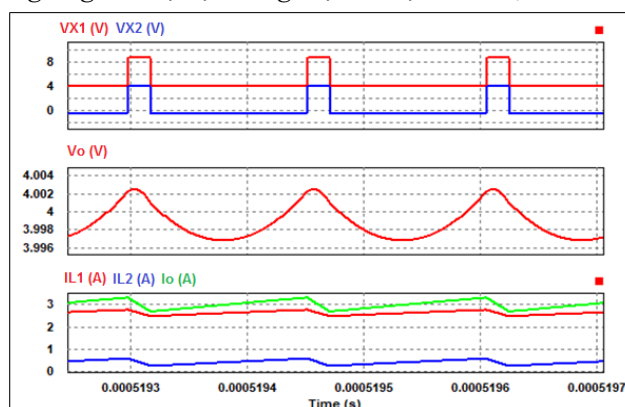
$$Hieu\_suat = \frac{I_{o\_avg} \times V_{o\_avg}}{I_{in\_avg} \times V_{in\_avg}} \quad (5)$$

Kết quả so sánh giữa hiệu suất của cấu trúc đề xuất so với cấu trúc truyền thống thể hiện trong hình 9. Mạch HO\_USB\_BUCK có hiệu suất thấp ở vùng dòng tải nhỏ, hiệu suất cao tại vùng tải trung và lớn. Điều này là phù hợp với quá trình sạc pin có thời gian chủ yếu là sạc ở chế độ dòng cố định lớn. Cấu trúc có thể đạt được hiệu suất cao nhất là 95% tại 4.5 V, 1 A.

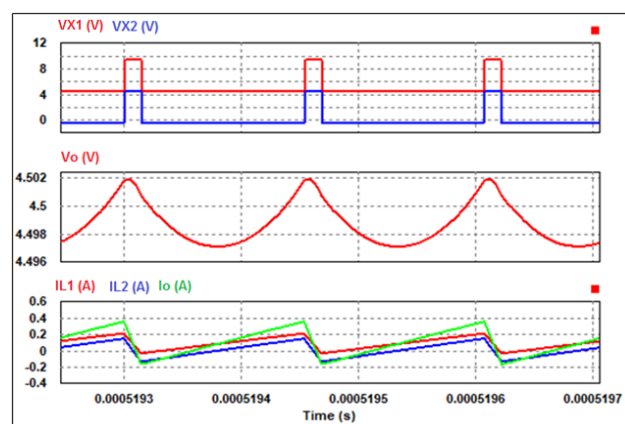
Trong quá trình sạc pin khi điện áp sạc 3.3 V là thời điểm dòng tải tăng từ chế độ sạc cố định dòng nhỏ lên dòng lớn. Khi đó, vấn đề hiệu suất và tỏa nhiệt trên mạch được đặc biệt quan tâm. Tương ứng với thời điểm này, hiệu suất của cấu trúc đề xuất tốt hơn mạch truyền thống 7.5% tại dòng tải 3 A. Ngoài ra, phần tổn hao của mạch Buck truyền thống tập trung toàn bộ trên bo mạch, còn trong mạch HO\_USB\_BUCK, vai trò cuộn cảm  $L_1$  do cáp USB đảm nhận. Do đó, nếu chỉ tính tổn hao do các thành phần linh kiện trên bo mạch gây ra thì mạch HO\_USB\_BUCK có ít tổn hao trên bo mạch hơn so với mạch truyền thống 15%.



(a) Tương ứng chế độ sạc dòng điện cố định nhỏ  $I_o=0.5\text{ A}$ ,  $V_o=3\text{ V}$ ;

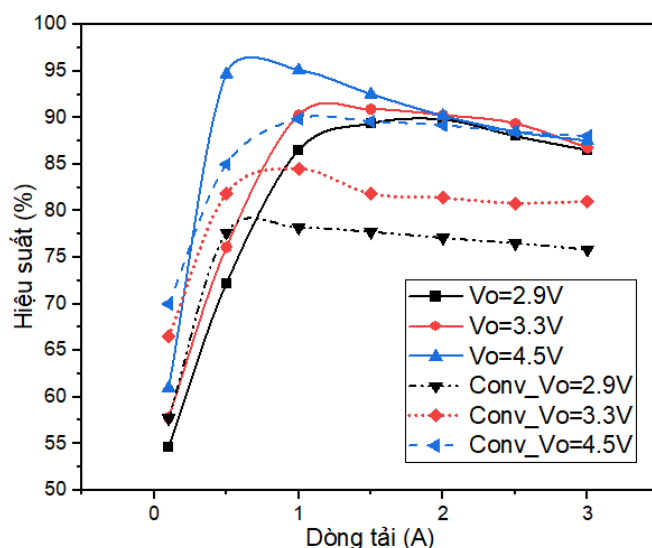


(b) Tương ứng chế độ sạc dòng điện cố định lớn  $I_o=3\text{ A}$ ,  $V_o=4\text{ V}$ ;



(c) Tương ứng chế độ sạc điện áp cố định  $I_o=0.1\text{ A}$ ,  $V_o=4.5\text{ V}$ .

**Hình 8.** Kết quả mô phỏng dạng sóng dòng điện và điện áp ra ở trạng thái tĩnh.



**Hình 9.** So sánh hiệu suất của HO\_USB\_BUCK và Buck truyền thống.

Như vậy, tại thời điểm bắt đầu sạc nhanh này, mạch sẽ giảm bớt được phần tỏa nhiệt đi rất nhiều. Giai đoạn sạc thứ ba, chế độ điện áp cố định 4.5 V với dòng thay đổi từ 3 A tới 0.1 A, mạch HO\_USB\_BUCK có hiệu suất tốt hơn trong hầu hết thời gian khi dòng tải lớn hơn. Với những trường hợp thường không để pin đến mức hết sạch pin và muốn sử dụng nhanh, pin không sạc đầy đến mức 100%, tức là chủ yếu sạc ở chế độ dòng điện cố định lớn thì cấu trúc này hiệu quả rõ rệt.

So sánh với cấu trúc PS3B [11] mà bài báo đã tham khảo để xây dựng cấu trúc với cấp, HO\_USB\_BUCK có hiệu suất định tốt hơn (bảng 2), việc sử dụng cấp USB giúp giảm bớt một cuộn cảm so với PS3B, đồng thời giảm được phần tỏa nhiệt do điện trở ký sinh trên  $L_1$  từ mạch sang cấp. So sánh với một số công trình nghiên cứu trước liên quan đến sạc pin Li-ion, cấu trúc đề xuất có hiệu suất tốt hơn giúp giảm vấn đề tỏa nhiệt trên mạch. Dài chuyển đổi của HO\_USB\_BUCK tương đương với các cấu trúc khác và rộng hơn [12]. Dòng điện đầu ra cực đại cao hơn [2, 15, 16] cho phép pin có thể sạc nhanh hơn.

**Bảng 2.** So sánh cấu trúc đề xuất với các thiết kế khác.

	Cấu trúc đề xuất <sup>1</sup>	Seo_2018 <sup>2</sup> [12]	Ouremchi <sup>3</sup> 2018 [2]	Nguyen Van Hao <sup>3</sup> _2017 [15]	Fouad Farah <sup>3</sup> 2021 [16]	Abdulslam <sup>4</sup> 2019 [11]
Cấu trúc	HO_USB_BUCK	S-Hybrid	LDO	-	LDO	PS3B
Điện áp đầu vào	5 V	5 V	5 V	5 V	2.7 V ÷ 4.5 V	1.8 V
Điện áp đầu ra	2.9 V ÷ 4.5 V	3.3 V ÷ 3.8 V	2.8 V ÷ 4.2 V	2.9 V ÷ 4.5 V	4.2 V	0.5 V ÷ 1.5 V
Dòng điện đầu ra	0.1 A ÷ 3 A	0.1 A ÷ 3.9 A	0.1 A ÷ 1.1 A	0.05 A ÷ 1 A	0.1 A ÷ 1 A	0.1 A ÷ 2.5 A
Hiệu suất định	95%	91.5%	90%	92%	90%	94%

<sup>1</sup>: Mô phỏng PSIM; <sup>2</sup>: Đo PCB; <sup>3</sup>: Mô phỏng Cadence; <sup>4</sup>: Đo chip.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất sử dụng cảm kháng ký sinh của cáp USB đóng vai trò cuộn cảm trong một cấu trúc bộ chuyển đổi xuống bậc cao. Việc sử dụng cáp giúp giảm bớt số lượng cuộn cảm cần cho mạch, giảm kích thước mạch và di chuyển một phần tỏa nhiệt từ mạch sang cáp. Với cấu trúc này, dòng điện đầu vào có dạng liên tục giúp giảm nhiễu, mạch không cần dùng thêm bộ lọc đầu vào góp phần giảm kích thước. Cuộn dây đặt phía đầu vào có tổn hao dẫn nhỏ hơn làm tăng hiệu suất của mạch. Kết quả mô phỏng trên PSIM cho thấy, mạch có thể đạt tới hiệu suất 95% trong giai đoạn sạc nhanh. Điều này rất có ý nghĩa đối với việc giảm tăng nhiệt trong quá trình sạc pin. Mạch cung cấp dải điện áp rộng từ 2.9 V đến 4.5 V tới đầu ra, với các dòng tải khác nhau từ 0.1 A đến 3 A có thể sử dụng trong các bộ sạc nhanh cho pin Li-ion. Hướng nghiên cứu tiếp theo của bài báo là hoàn thiện một bộ sạc pin Li-ion, mở rộng cấu trúc với các loại cáp USB khác, áp dụng cho các pin Li-ion nhiều cell hơn ở dải điện áp vào, ra cao hơn.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Youssef Ziadi and Hassan Qjidaa “A High Efficiency Li-Ion Battery LDO-Based Charger for Portable Application”, Active and Passive Electronic Components **Vol. 2015**.
- [2]. Ouremchi, M., et al, “Li-Ion Battery Charger Based on LDO Regulator for Portable Device Power Management”, 2018 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), **vol. 2019**.
- [3]. C.Schaef and J. T. Stauth, “A highly integrated series-parallel switchedcapacitor converter with 12 V input and quasi-resonant voltage-mode regulation”, IEEE J. Emerg. Sel. Topics Power Electron, **vol. 6**, no. 2 (2018), pp. 456–464.
- [4]. W. Liu, P. Assem, Y. Lei, P. K. Hanumolu “A 94.2%-peak-efficiency 1.53 A direct-battery-hook-up hybrid Dickson switched-capacitor DC-DC converter with wide continuous conversion ratio in 65 nm CMOS”, in IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC), Dig. Tech. Papers, Feb. 2017, pp. 182–183.
- [5]. R. Das, G.-S. Seo, and H.-P. Le, “A 120V-to-1.8V 91.5%-efficient 36W dual-inductor hybrid converter with natural soft-charging operations for direct extreme conversion ratios”, in Proc. IEEE Energy Convers. Congr.Expo. (ECCE), Sep. 2018, pp. 1266–1271.
- [6]. P. Renz, M. Kaufmann, M. Lueders, and B. Wicht, “8.6 A fully integrated 85%-peak-efficiency hybrid multi ratio resonant DC-DC converter with 3.0-to-4.5V input and 500 $\mu$ A-to-120 mA load range load range,” in IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC) Dig. Tech. Papers, Feb. 2019, pp. 156–158.
- [7]. J. S. Rentmeister, C. Schaef, B. X. Foo, and J. T. Stauth, “A flying capacitor multilevel converter with sampled valley-current detection for multi-mode operation and capacitor voltage balancing,” in Proc. IEEE Energy Convers. Congr. Expo. (ECCE), Sep. 2016, pp. 1–8.
- [8]. Pilawa-Podgurski, D. J. Perreault, “Merged two-stage power converter with soft charging switched-capacitor stage in 180 nm CMOS,” IEEE J. Solid-State Circuits, **vol. 47**, no. 7 (2012), pp. 1557–1567.
- [9]. M. Sun, Z. Yang, K. Joshi, D. Mandal, P. Adell, and B. Bakkaloglu “A 6 A, 93% peak efficiency, 4-phase digitally synchronized hysteretic buck converter with  $\pm 1.5\%$  frequency and  $\pm 3.6\%$  current-sharing error,” IEEE J. Solid-State Circuits, **vol. 52**, no. 11 (2017), pp. 3081–3094.
- [10]. S. J. Kim, R. K. Nandwana, Q. Khan, R. C. N. Pilawa-Podgurski, and P. K. Hanumolu, “A 4-phase 30–70 MHz switching frequency buck converter using a time-based compensator,” IEEE J. Solid-State Circuits, **vol. 50**, no. 12 (2015), pp. 2814–2824.
- [11]. Abdulslam, “A Passive-Stacked Third-Order Buck Converter with Inherent Input” IEEE Solid-State Circuits Letters, **vol. 2**, no. 11 (2019), pp. 240–243.
- [12]. Hanh-Phuc. Le, Gab-Su Seo, “An Inductor-Less Hybrid Step-Down DC-DC Converter Architecture for Future Smart Power Cable,” Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo (2018), pp. 247–253.
- [13]. Hanh-Phuc. Le, Gab- Su Seo, “S-Hybrid Step-Down DC-DC Converter-Analysis of Operation and Design Considerations” IEEE Transactions of Industrial Electronics, **vol. 67**, no. 1, pp. 265–275, 2020.
- [14]. J. Duncan Glover, Thomas J. Overbye, Mulukutla S. Sarma, “Power System Analysis and Design”, Cengage Learning (2017), pp. 161–188.

- [15]. Nguyen Van Hao, Nguyen Duc Minh, Pham Nguyen Thanh Loan, “An Adaptive and Wide-Range Output DC-DC Converter for Loading Circuit of Li-Ion Battery Charger”, VNU Journal of Science: Comp. Science & Com. Eng, **Vol. 34**, No. 1 (2018) 10-18.
- [16]. Fouad Farah, et al, “A new Li-ion battery charger with charge mode selection based on 0.18 um CMOS for phone applications”, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), **Vol. 11**, No. 3, June 2021, pp. 1994~2002.

#### **ABSTRACT**

##### **Improving the efficiency of DC-DC converters with high-order structure utilizing parasitic inductance for Li-ion battery chargers**

*This paper presents a high-order DC-DC down-converter structure using the parasitic inductance in the USB cable as an inductor for Li-ion battery chargers. The structure provides high conversion efficiency, wide conversion range similar to the conventional Buck converter. Thanks to the continuous input current, the noise and electromagnetic interference (EMI) at the input are significantly reduced. The proposed structure is evaluated with a design for a Li-ion battery charger using a 1 m USB type-C cable. Simulation results show that the achievable peak efficiency of the proposed structure is 95% which is 8% higher than that of the conventional Buck under the same conditions.*

**Keywords:** DC-DC converter; Buck converter; High-order converter; Li-ion battery; Fast charging.