



## NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG SIÊU TỤ ĐIỆN

Võ Trần Tấn Quốc và Nguyễn Chí Ngôn

Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

### Thông tin chung:

Ngày nhận: 11/11/2016

Ngày chấp nhận: 28/04/2017

### Title:

Research and application of super-capacitors

### Từ khóa:

Năng lượng mặt trời, năng lượng tái tạo, siêu tụ điện

### Keywords:

Renewable energy, solar energy, supercapacitor

### ABSTRACT

This study is aimed to find a solution to using super-capacitors for generating solar energy instead of using batteries; the supercapacitor serves low-power applications such as lights, warning lights, power supplies for environmental monitoring electronic devices industrial sensors on dangerous places or replace motorcycle's batteries, etc. The super-capacitors have high advantages strength, friendly environmental, capacity energy storage in short time. The study sets up some experiments for charging by positive balancing methods applying on six super-capacitors 350F/2.7VDC, which generates by solar panels 12VDC/25W. Experimental results demonstrated that using super-capacitors to replace batteries in storing solar energy is completely feasible.

### TÓM TẮT

Nghiên cứu này tìm kiếm một giải pháp ứng dụng siêu tụ điện để tích trữ năng lượng điện mặt trời thay thế cho ắc-quy; nhằm mục đích phục vụ các ứng dụng công suất thấp như đèn chiếu sáng, đèn cảnh báo, cấp nguồn cho các thiết bị điện tử quan trắc môi trường, các cảm biến công nghiệp trong môi trường độc hại, hay thay thế bình ắc-quy của xe gắn máy... Siêu tụ điện có ưu điểm là độ bền cao, thân thiện với môi trường, khả năng tích trữ năng lượng trong thời gian ngắn. Nghiên cứu này thiết lập thí nghiệm việc nạp điện bằng phương pháp cân bằng tích cực cho 6 siêu tụ 350F/2.7VDC, từ dòng điện sinh bởi tấm pin năng lượng mặt trời 12VDC/25W. Kết quả thí nghiệm chứng tỏ được việc dùng siêu tụ thay thế cho bình ắc-quy trong sử dụng điện mặt trời là hoàn toàn khả thi.

Trích dẫn: Võ Trần Tấn Quốc và Nguyễn Chí Ngôn, 2017. Nghiên cứu ứng dụng siêu tụ điện. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 49a: 66-72.

### 1 PHẦN MỞ ĐẦU

Với hơn 2.000 giờ nắng trung bình mỗi năm, Đồng bằng sông Cửu Long có tiềm năng lớn trong việc sử dụng năng lượng mặt trời (Nguyễn Thị Nhâm Tuất, 2013). Các tấm pin năng lượng mặt trời đã được sản xuất tại Việt Nam, với giá thành ngày một giảm. Tuy nhiên, việc ứng dụng pin năng lượng mặt trời vào cuộc sống vẫn còn nhiều hạn chế, chưa phổ biến rộng rãi nhất là ở nông thôn. Một nguyên nhân căn bản gây ra hạn chế này là ắc-quy tích trữ điện năng có tuổi thọ thấp, giá thành cao, làm cho tổng kinh phí đầu tư lớn. Ngoài ra,

sau thời gian sử dụng, các ắc-quy này trở thành nguồn rác thải rất nguy hại (Nguyễn Thị Kim Thái, 2013). Nghiên cứu này nhằm tìm kiếm một giải pháp ứng dụng siêu tụ điện, để tích trữ năng lượng điện mặt trời thay thế cho ắc-quy, phục vụ các ứng dụng công suất thấp như đèn chiếu sáng, đèn cảnh báo, cấp nguồn cho các thiết bị điện tử quan trắc môi trường, các cảm biến công nghiệp trong môi trường độc hại, hay thay thế bình ắc-quy của xe gắn máy,...

Về mặt lý thuyết, tụ điện là linh kiện điện tử thụ động, cấu tạo gồm 2 bản điện cực có diện tích S,

chất điện môi có hằng số điện môi  $\epsilon$ , có hằng số điện thẩm  $\epsilon_0$  và được đặt cách một khoảng  $d$ . Điện dung tụ điện được thể hiện bằng công thức (1).

$$C = \epsilon x \epsilon_0 x \frac{S}{d} \quad (1)$$

Ngoài ra,

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2)$$

Với:

- $Q$ : điện tích tụ điện (Coulomb –C),
- $V$ : điện áp đặt giữa 2 bản tụ điện (V),
- $C$ : điện dung tụ điện (Farad –F).

Với công nghệ nano, ngày nay các siêu tụ điện có điện dung rất lớn và kích thước nhỏ đã được sản xuất (Kemet-Electronics-Corporation, 2014). Theo (1), để tăng điện dung thì cần giảm  $d$  hoặc tăng  $S$ . Do siêu tụ có khoảng cách  $d$  rất nhỏ nên khả năng tăng điện áp để nâng điện dung là không thể, nên chỉ thực hiện giảm thông số  $d$ . Ngoài ra, do khoảng cách  $d$  rất nhỏ nên khi được tích điện tích dễ bị rò, làm giảm thời gian lưu trữ.

Thời gian tích trữ năng lượng trên siêu tụ có mật độ năng lượng cao trong thời gian ngắn rất phù hợp cho các ứng dụng sử dụng năng lượng thấp nhưng liên tục và đòi hỏi thời gian nạp là ngắn (Alfred Rufer, S, and Philippe Barrade, 2002).

Các ắc-quy lưu trữ năng lượng có số lần nạp hữu hạn, tốn nhiều thời gian nạp năng lượng, quá trình tích trữ năng lượng là quá trình chuyển hóa các phản ứng hóa học bên trong thiết bị. Qua thời gian sử dụng, các thiết bị lưu trữ sẽ là các chất thải nguy hại, gây ô nhiễm môi trường sống và ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe con người khi tiếp xúc trực tiếp (Trịnh Thị Thanh, 2003).

Sản lượng ắc-quy sản xuất hàng năm đều tăng, đồng thời thải ra số lượng lớn ắc-quy là nguồn rác thải nguy hại ảnh hưởng đến môi trường (Nguyễn Hương, 2014).

Nghiên cứu ứng dụng này nhằm đưa ra giải pháp mới thay thế 1 phần cho các thiết bị lưu trữ truyền thống trước đây. Việc nghiên cứu ứng dụng này đã được thực hiện ở các nước có nền kỹ thuật phát triển, đối với trong nước chỉ tìm hiểu về lý thuyết kỹ thuật nhưng chưa ứng dụng thực tiễn.

## 2 PHƯƠNG PHÁP THỰC HIỆN

### 2.1 Siêu tụ điện

Với công nghệ nano phát triển, việc tạo ra các siêu tụ điện (Jayalakshmi, M. and K. Balasubramanian, 2008) có điện dung từ vài Farad đến hàng nghìn Farad là có thể thực hiện được, nhưng điện áp làm việc thì không cao chỉ từ 2,7V

đến 5,5V (Panasonic, S, 2015). Do điện áp làm việc thấp nên bị hạn chế khi ứng dụng trên các mạch điện có điện áp cao. Để giải quyết sự hạn chế về điện áp này cần sử dụng nhiều siêu tụ điện ghép nối tiếp để nâng điện áp làm việc. Việc ghép nối tiếp sẽ tăng giá trị điện áp làm việc và giảm điện dung:

$$V = \sum_1^n V_i \quad (3)$$

$$\frac{1}{C} = \sum_1^n \frac{1}{C_i} \quad (4)$$

Với  $V_i$  và  $C_i$  lần lượt là điện thế và điện dung của từng siêu tụ thành phần.

Thông số đặc trưng của siêu tụ Kemet 2,7V-350F, được trình bày trong Bảng 1.

**Bảng 1: Thông số siêu tụ Kemet 2,7V-350F**

Thông số	Giá trị	Đơn vị đo
S501LF357V2R7A	350	F
Điện áp làm việc	2,7	VDC
Điện áp quá áp	2,85	VDC
Điện trở cách điện	3,2	mΩ
Nhiệt độ cho phép	-40 - +65	°C
Mật độ năng lượng tối đa	0,35	Wh
Chu kỳ nạp/phóng	500.000	Lần

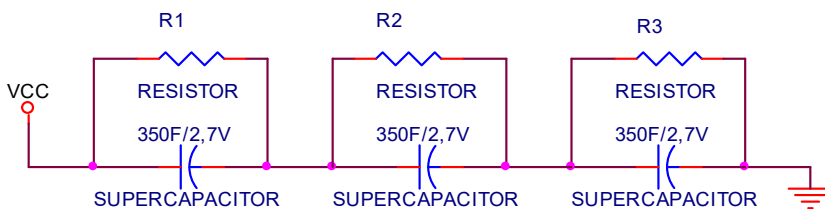
Chất lượng bên trong mỗi siêu tụ không đồng đều, thời gian tích trữ năng lượng cũng khác nhau, do đó, cần bảo vệ quá điện áp trên mỗi siêu tụ điện.

### 2.2 Phương pháp nạp cân bằng thụ động

Phương pháp nạp cân bằng thụ động đơn giản gồm các điện trở công suất, có giá trị điện trở như nhau được mắc nối tiếp với nhau. Điện áp 1 chiều đặt vào 2 đầu dây điện trở mắc nối tiếp sẽ tạo ra các điện áp  $v_1, v_2, v_3, \dots$  tương ứng với số lượng điện trở mắc vào. Dòng điện trong mạch nối tiếp là như nhau.

Các siêu tụ được mắc song song với các điện trở để nạp điện tích. Ở Hình 1, chế độ nạp năng lượng cho bộ siêu tụ điện ở chế độ cân bằng thụ động. Sử dụng phương pháp chia điện áp bằng điện trở, các điện trở này đều cùng thông số về giá trị điện trở và công suất. Đối với phương pháp này mạch chỉ có tác dụng chia áp trên mỗi siêu tụ điện khi mắc song song với mỗi điện trở. Do thành phần cấu tạo bên trong mỗi siêu tụ không tuyệt đối giống nhau nên khi đặt điện áp trên các siêu tụ sẽ không đều, dẫn đến một số siêu tụ này sẽ vượt quá điện áp làm việc gây hư hỏng do vượt quá điện áp danh định 2,7V.

Để đảm bảo các siêu tụ làm việc đúng giá trị điện áp và không bị đánh thủng cần phải điều khiển và giám sát điện áp nạp trên mỗi siêu tụ (Tsopelas, A. and G. Cheimonidis, 2009).

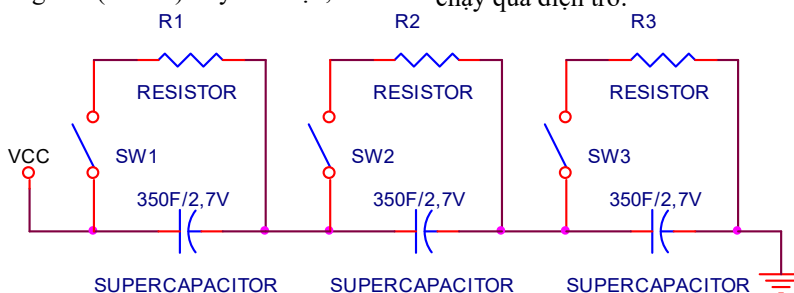


**Hình 1: Mạch nạp cân bằng thụ động (passive balancing)**

### 2.3 Phương pháp nạp cân bằng chủ động

Phương pháp này sử dụng linh kiện bán dẫn để giám sát quá trình tích trữ năng lượng trên mỗi siêu tụ điện. Với Hình 2, mạch ở chế độ nạp cân bằng chủ động, các switch này được thể hiện là các công tắc chuyển mạch bán dẫn tĩnh. Mạch giám sát sẽ điều khiển các công tắc (switch) này liên tục, khi

điện áp trên siêu tụ đạt ngưỡng điện áp làm việc thì switch đóng lại, khi điện áp giảm dưới ngưỡng switch sẽ mở ra để tiếp tục nạp duy trì. Trong Hình 2, dòng điện di chuyển theo chiều từ cực dương (+) sang cực âm (-), khi công tắc ở vị trí mở dòng điện sẽ được nạp qua siêu tụ điện cho đến điện áp xấp xỉ điện áp bảo vệ thì công tắc đóng lại để dòng điện chạy qua điện trở.



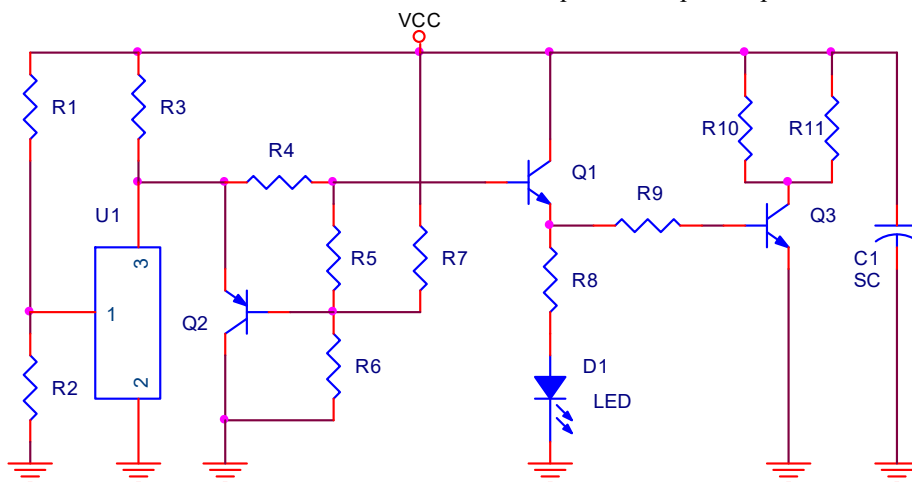
**Hình 2: Mạch nạp cân bằng chủ động (active balancing)**

Mạch nạp cân bằng chủ động hoạt động trên nguyên tắc giám sát điện áp nạp cho siêu tụ. Cụ thể, Hình 3 mô tả sơ đồ đại diện cho một switch bán dẫn trong Hình 2, để điều khiển nạp điện tích cho 1 siêu tụ.

Quá trình nạp điện tích được giám sát bởi U1, Q2 và Q3. Điện áp nạp sẽ do U1 quyết định giá trị, Q3 có nhiệm vụ ngắt điện áp không cung cấp cho

siêu tụ khi đạt giá trị cần thiết. Điện trở R10, R11 là điện trở công suất.

Trong quá trình thực hiện, các switch này ghép nối tiếp với nhau, khi siêu tụ bất kỳ được nạp đến điện áp quy định thì switch đóng lại, dòng điện được dẫn liên tục trên các switch còn lại. Tiến trình nạp được thực hiện liên tục, khi điện áp trên các siêu tụ giảm dưới điện áp quy định, switch sẽ mở ra và quá trình nạp lại tiếp tục.



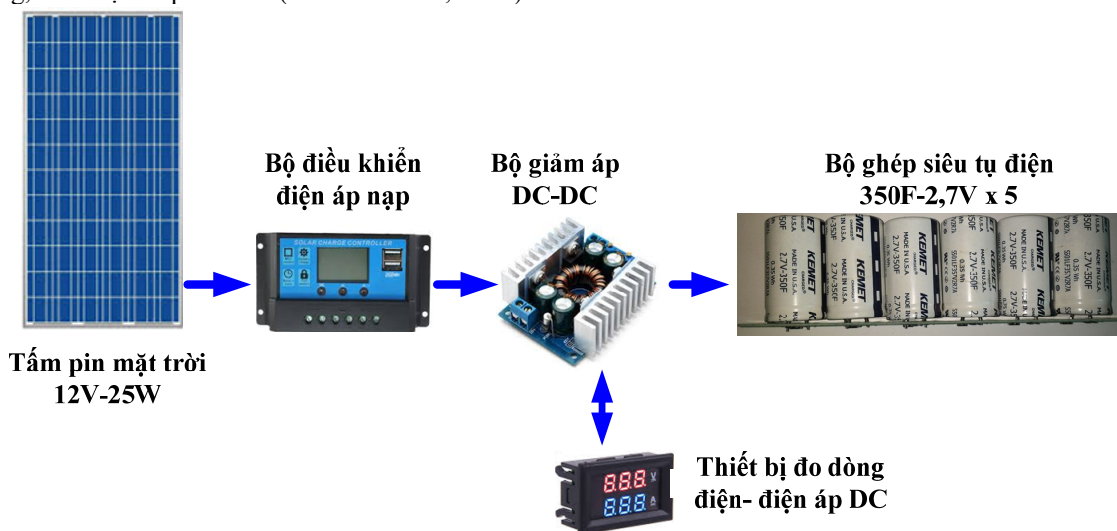
**Hình 3: Switch bán dẫn ở chế độ nạp cân bằng chủ động**

## 2.4 Pin mặt trời

Pin năng lượng mặt trời hay pin mặt trời (Solar panel) bao gồm nhiều tế bào quang điện (solar cells) là phần tử bán dẫn có chứa trên bề mặt một số lượng lớn các cảm biến ánh sáng là diode quang, thực hiện biến đổi năng lượng ánh sáng thành năng lượng điện.

Nguyên lý hoạt động pin điện mặt trời là cách chuyển quang năng thành điện năng trực tiếp nhờ các tấm pin mặt trời ghép lại với nhau thành mô đun. Photon đập vào electron làm năng lượng của electron tăng lên và di chuyển tạo thành dòng điện. Điện năng do pin mặt trời tạo để sử dụng hay để sạc pin hoặc ắc-quy.

Để tận dụng nguồn năng lượng tái tạo sẵn có trong tự nhiên, trong nghiên cứu ứng dụng sử dụng pin mặt trời để chuyển hóa ánh nắng mặt trời thành năng lượng điện, tích trữ vào bộ ghép siêu tụ, năng lượng sẽ được dùng cho các ứng dụng có ích công suất thấp (Brunelli *et al.*, 2009) như: pin backup bộ nhớ trên mạch điện tử (Smith *et al.*, 2002), thấp sáng, cảnh báo, nạp điện cho các thiết bị cầm tay di động, thiết bị thu phát wifi (Paradiso *et al.*, 2005)



Hình 4: Sơ đồ ghép nối các thiết bị

Tấm pin mặt trời sẽ được dùng để chuyển hóa ánh sáng mặt trời thành điện áp để sử dụng.

Bộ điều khiển điện áp nạp 12V/20A, được đấu nối trực tiếp vào tấm pin mặt trời để giới hạn điện áp đầu ra không vượt quá 14,4V.

Bộ giảm áp DC-DC có dây điện áp hoạt động ngõ ra 0,8-28V, dòng điện cho phép tối đa 12A. Do điện áp ngõ ra của bộ điều khiển điện áp nạp là 14,4V nên điện áp đầu ra bộ giảm áp sẽ được chỉnh bằng giá trị điện áp bộ nạp.

khởi động động cơ xe máy, xe ô tô (Joel Schindall, 2007).

## 2.5 Mô hình kết nối các thiết bị thực nghiệm

Do giá trị điện áp làm việc trên mỗi siêu tụ là 2,7V và điện dung là 350F nên để làm việc với điện áp cao hơn cần phải ghép nối tiếp để tăng điện áp làm việc.

Thực hiện ghép 06 siêu tụ để được bộ siêu tụ có điện dung 70F và điện áp làm việc 16,2V.

Hình 4, mô tả kết nối các thành phần liên quan thành hệ thống gồm: Tấm pin mặt trời, bộ điều khiển điện áp nạp, bộ giảm áp DC-DC, thiết bị đo dòng-áp, bộ siêu tụ.

Do tính chất của siêu tụ là khoảng thời gian nạp điện rất ngắn, tùy theo nguồn cung cấp có công suất lớn hay nhỏ. Để đảm bảo an toàn cho pin mặt trời, cần phải sử dụng bộ điều khiển nạp để đảm bảo dòng nạp không quá dòng điện làm việc bình thường, nếu quá lớn sẽ gây hư hỏng tấm pin mặt trời. Bộ giảm áp DC-DC được lắp thêm để tăng cường bảo vệ bộ siêu tụ không bị hư hỏng do quá điện áp làm việc.

Thiết bị đo dòng điện-điện áp DC sẽ được dùng để giám sát liên tục giá trị dòng điện- điện áp nạp vào bộ siêu tụ.

## 2.6 Thực hiện thực nghiệm

Mô hình thực nghiệm gồm các thiết bị như mô tả ở Hình 4, sử dụng tấm pin mặt trời đặt trên mái nhà để thu ánh sáng mặt trời. Các thiết bị liên quan được kết nối như Hình 4 và Hình 6.





Hình 5: Tấm pin mặt trời 12V- 25W

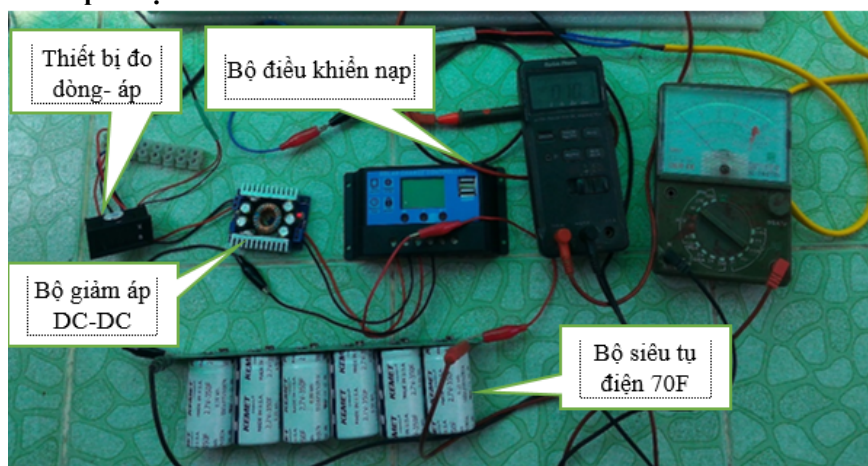
Thí nghiệm dùng tấm pin mặt trời công suất 25W (Hình 5) với các thông số kỹ thuật cho trên Bảng 2. Mô hình thí nghiệm được triển khai như Hình 6.

**Bảng 2: Thông số tấm pin năng lượng mặt trời**

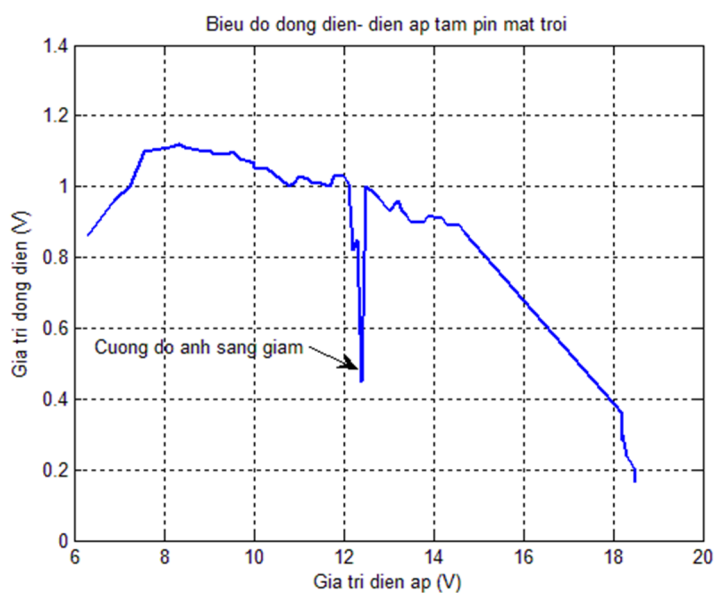
Thông số	Giá trị	Đơn vị đo
Pmax	25	W
Vpm	17,9	V
Ipm	1,4	A
Voc	20,41	V
Isc	1,54	A

### 3 KẾT QUẢ

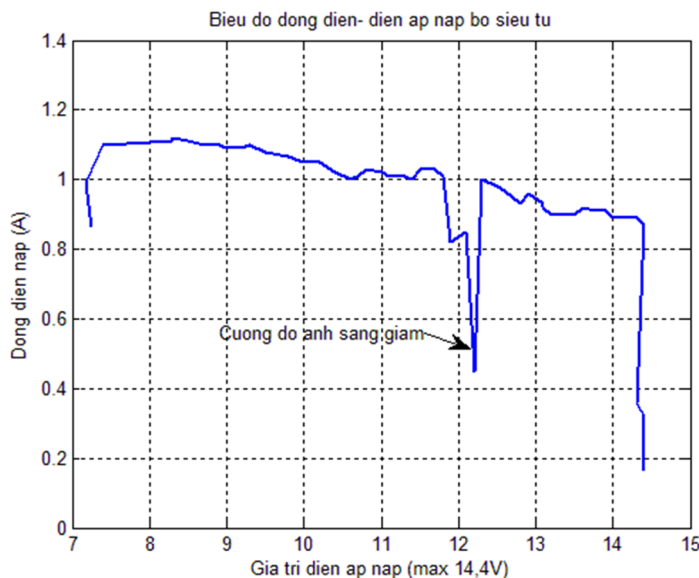
Cài đặt thông số trên bộ nạp để điện áp đạt tối đa 14,4V và dòng điện không quá 1,4A. Quá trình nạp được ghi nhận như Hình 7 và Hình 8:



Hình 6: Mô hình thực nghiệm trên bộ siêu tụ 70F



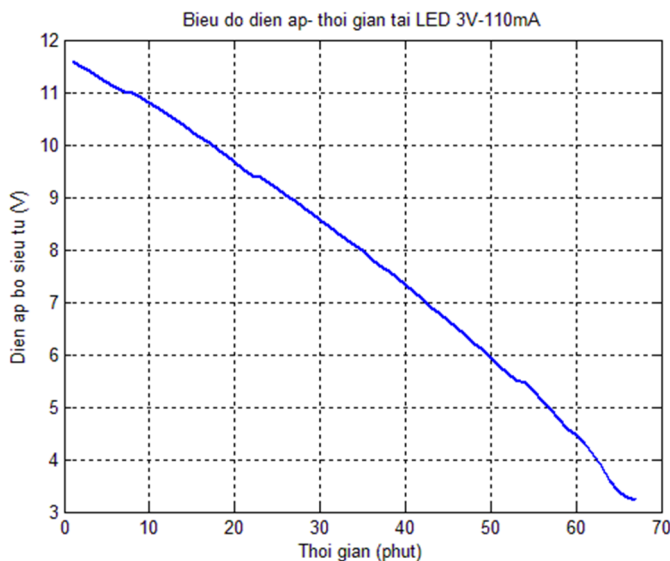
Hình 7: Biểu đồ thể hiện giá trị dòng điện và điện áp của pin mặt trời trong quá trình nạp



**Hình 8: Biểu đồ thể hiện giá trị dòng điện của pin mặt trời và điện áp nạp bộ siêu tụ**

Sau quá trình nạp điện tích cho bộ siêu tụ, giá trị điện áp là 14,4V, bộ điều khiển nạp ngừng cung cấp năng lượng.

Để chứng minh khả năng lưu trữ năng lượng, sử dụng tải 01 đèn led công suất 1W/3V mắc nối tiếp với bộ giảm áp DC-DC với điện áp đầu ra 3V và dòng điện là 110mA. Kết quả thí nghiệm như Hình 9.



**Hình 9: Thời gian hoạt động của LED được cấp bằng bộ siêu tụ**

Thời lượng duy trì mức điện áp 3V để đèn led sáng là hơn 60 phút. Kết quả thu được từ thực nghiệm đã chứng minh được việc ứng dụng siêu tụ điện để thay thế pin hoặc ắc-quy trong 1 số ứng dụng công suất thấp là khả thi. Nghiên cứu chỉ dừng lại ở mức độ các ứng dụng nhỏ, đối với các ứng dụng công suất lớn cần nghiên cứu kỹ hơn.

#### 4 KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Nghiên cứu đã xây dựng một ứng dụng và thực nghiệm thành công việc dùng siêu tụ thay thế ắc-quy truyền thống phục vụ việc lưu trữ năng lượng điện mặt trời. Siêu tụ điện có khả năng nạp/xả nhanh với độ bền cao hơn so với sử dụng ắc-quy, phù hợp cho nhiều ứng dụng công suất nhỏ hay đòi hỏi dòng tức thời cao. Nghiên cứu này sẽ được tiếp

tục phát triển để dùng siêu tụ điện thay cho các ắc-quy xe gắn máy vốn rất phổ biến tại Việt Nam.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

Nguyễn Thị Nhâm Tuất. 2013. Đánh giá thực trạng và tiềm năng khai thác năng lượng tái tạo ở Việt Nam. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*. 112(12)/1: 155 - 159.

Nguyễn Thị Kim Thái, 2013. Đánh giá thực trạng quản lý chất thải rắn tại các làng nghề tái chế phế liệu và đề xuất các giải pháp quản lý. *Tạp chí khoa học Công nghệ Xây dựng*. 9:114-120.

Kemet-Electronics-Corporation. "Supercapacitor KEMET S501 Series, Snap-In, 2.7 V, 65°C.", 2014. (Thông số kỹ thuật của siêu tụ điện do Hãng Kemet cung cấp thông tin).

Alfred Rufer, S, and Philippe Barrade, 2002. A Supercapacitor-Based Energy-Storage System for Elevators With Soft Commutated Interface. *IEEE Transactions on industry applications*. Vol. 38(No. 5).

Trịnh Thị Thanh, 2003. *Độc học, môi trường và sức khỏe con người*. Đại học Khoa học Thái nguyên-Khoa Khoa học Tự nhiên và Xã hội. NXB Đại học Quốc gia Hà Nội.

Nguyễn Hương, 2014. Cần lập lại trật tự trong việc thu, gom tái chế ắc quy chì, (xem ngày 17-02-2016). <http://tapchicongthuong.vn/can-lap-lai-trat-tu-trong-viec-thu-gom-tai-che-ac-quy-chi-20140429024057635p33c403.htm>.

Jayalakshmi, M. and K. Balasubramanian, 2008. Simple Capacitors to Supercapacitors - An Overview. *Int. J. Electrochem* 3.

Panasonic, S. "Electric Double Layer Capacitors (Gold Capacitor)/ NF.", 2015. (Thông số kỹ thuật siêu tụ điện Hãng Panasonic giới thiệu). Tsopelas, A. and G. Cheimonidis, 2009. Measuring a Circuit Prototype for Balancing the Voltage between Supercapacitors. *CDS Course*, Stockholm.

Brunelli, D. and C. T. Moser, L., Benini, L, 2009. Design of a Solar-Harvesting Circuit for Batteryless Embedded Systems. *IEEE Spectrum* Volume, 56(Issue: 11, p.2519 - 2528).

Smith, T. A., and J. P. T. Mars, G.A, 2002. Using supercapacitors to improve battery performance" *Power Electronics Specialists Conference. IEEE 33rd Annual Volume 1: 124 - 128 vol.12*.

Paradiso, J. A., and T. Starner, 2005. Pervasive Computing, *IEEE* Volume 4(1). p 18 - 27.

J. Schindall, 05 Nov 2007, *IEEE*, Volume 44, p 42-46. The charge of the ultracapacitors, (ngày xem 17-01-2016). <http://ieeexplore.ieee.org/document/4378458/>.