

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO CÂY NĂNG LƯỢNG GỒM NGUỒN GIÓ VÀ MẶT TRỜI

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A WIND-SOLAR RENEWABLE ENERGY TREE

Luu Ngọc An^{1*}, Trần Thị Minh Dung¹, Phạm Nguyễn Quốc Huy¹, Giáp Quang Huy¹, Đoàn Anh Tuấn²

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

²Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: lnan@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 15/5/2023; Sửa bài / Revised: 8/6/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 03/7/2023)

Tóm tắt - Ngày nay, các nguồn năng lượng tái tạo đang được sử dụng rộng rãi trên thế giới và ở Việt Nam, không chỉ trong khai thác để phục vụ sản xuất điện năng nhằm giảm sử dụng năng lượng hóa thạch và ô nhiễm môi trường mà còn là một giải pháp để quảng bá nhằm thúc đẩy và nâng cao ý thức của con người trong việc sử dụng năng lượng xanh, sạch và hiệu quả tiết kiệm. Do vậy, trong bài báo này, nhóm tác giả đã đưa ra mô hình thiết kế, kết nối các nguồn tái tạo cũng như ứng dụng phần mềm để kiểm tra kết cấu, ổn định đồng thời tính toán, lựa chọn, chế tạo và lắp đặt một cây năng lượng bao gồm nguồn điện gió và mặt trời trong thực tế, nhằm phục vụ cho mục đích công cộng và quảng bá du lịch cho thành phố Đà Nẵng.

Từ khóa - Cây năng lượng; Turbine gió; Điện mặt trời; Inverter; Bộ lưu trữ

1. Đặt vấn đề

Ngày nay, các nguồn năng lượng tái tạo đang được sử dụng rộng rãi và đang trở thành một nguồn chiếm tỉ trọng lớn trong tổng các nguồn điện. Tính đến cuối năm 2022 tổng sản lượng điện từ năng lượng tái tạo trên thế giới chiếm đến 8700TWh, chiếm tỉ trọng lên đến 30% trong tổng sản lượng điện. Cũng tương tự, ở Việt Nam theo thống kê của tập đoàn Điện lực Việt Nam các con số tương ứng là 2,98 tỷ kWh, chiếm 16,2% và dự báo những con số sẽ được tăng lên trong những năm kế tiếp.

Một số nghiên cứu về năng lượng tái tạo trên thế giới đưa ra các phương pháp tối ưu trong tính toán thiết kế hệ thống có các nguồn năng lượng tái tạo được thể hiện trong các bài báo [1]- [5]. Các nghiên cứu khác lại nghiên cứu về lĩnh vực tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo vào lưới chẳng hạn như nghiên cứu tối ưu vận hành trong lưới điện có nguồn năng lượng tái tạo và phân tích ảnh hưởng của các nguồn tái tạo đến lưới điện truyền tải cũng như là phân phối, chẳng hạn như các bài báo [6]- [17]. Trong nước, hiện nay lĩnh vực nghiên cứu chủ yếu về thiết kế, phân tích ảnh hưởng khi kết nối các nguồn năng lượng tái tạo vào trong lưới điện cũng như phân tích an toàn trong các lưới điện như trong [18]- [21].

Cùng với những nghiên cứu và ứng dụng của các nguồn năng lượng tái tạo trong các ngành năng lượng để giảm việc sử dụng năng lượng hóa thạch và giảm ô nhiễm môi trường thì cũng có những áp dụng mang ý nghĩa khuyến khích sử dụng năng lượng xanh tái tạo và tạo niềm quan cho các khu du lịch... Chẳng hạn như cây năng lượng mặt trời đặt trong công viên quốc gia Singapore hay cây năng lượng gió tại

Abstract - Today, renewable energy sources are being widely used in the world and in Vietnam, not only in exploitation to serve electricity production in order to reduce fossil energy and environmental pollution, but also is a solution to promote and raise people's consciousness in using green, clean and efficient energy. Therefore, in this paper, the authors have proposed a model to design and connect renewable energy sources as well as apply softwares to check the structure, steadiness, at the same time calculate, select, design and install a windy and solar energy tree to serve community service and promote Danang's tourism.

Key words - Energy tree; wind turbine; solar power; inverter; Battery Energy Storage.

cộng hóa Pháp [22]- [23]. Trong khi đó, ở trong nước chưa có nghiên cứu cũng như chế tạo lắp đặt sử dụng hệ thống cây tạo ra năng lượng nhằm phục vụ cho lợi ích quảng bá hình ảnh cho các thành phố.

Mục đích chính của bài báo này là tính toán, thiết kế và chế tạo một cây năng lượng sử dụng 2 nguồn năng lượng kết hợp là năng lượng gió và năng lượng mặt trời để lắp đặt tại các điểm công cộng và phục vụ du lịch trên địa bàn TP. Đà Nẵng. Cây năng lượng được thiết kế, chế tạo bao gồm 10 turbine gió trực đứng và 10 tấm pin mặt trời, được kết nối với nhau kết hợp với hệ thống lưu trữ tạo ra một hệ thống điện cung cấp điện cho các phụ tải một chiều hoặc xoay chiều độc lập với điện lưới. Việc tính toán kiểm tra độ bền, ổn định với các điều kiện khác nhau về sức gió, bão được thực hiện bằng các phần mềm chuyên ngành được thực hiện và kết quả tính toán đạt được có độ tin cậy cao. Bên cạnh đó, các tính toán lựa chọn các phần tử và kết nối phần điện của cây để cung cấp điện năng từ các nguồn năng lượng gió và mặt trời cho các phụ tải một chiều và xoay chiều, đánh giá kết quả hoạt động của cây năng lượng với các yêu cầu về độ ổn định chất lượng điện năng và tiếng ồn được tính toán, đánh giá hợp lý.

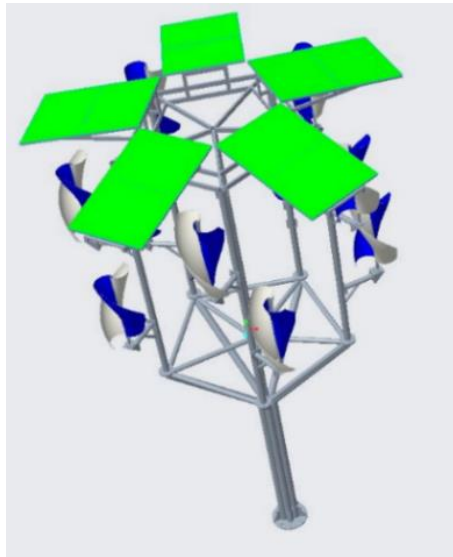
2. Mô hình thiết kế cây năng lượng

Với yêu cầu thiết kế một cây năng lượng với tổng công suất dự kiến 1.1kW gồm 10 turbine gió trực đứng công suất dự kiến $30 \times 10 = 300W$, và 10 tấm pin mặt trời với tổng công suất $10 \times 100 = 1000W$, cùng với yêu cầu về tính thẩm mỹ, độ ổn định và đảm bảo không gây ô nhiễm tiếng ồn, sau khi phân tích đánh giá nhiều phương án thiết kế khác nhau

¹ The University of Danang - University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Luu Ngọc An, Trần Thị Minh Dung, Phạm Nguyễn Quốc Huy, Giáp Quang Huy)

² The University of Danang, Danang, Vietnam (Doan Anh Tuan)

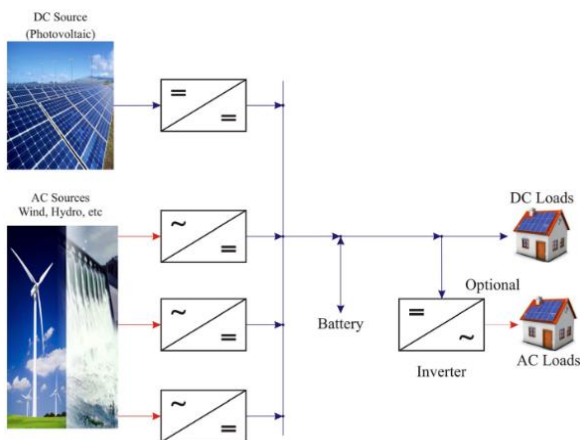
nhóm tác giả đã lựa chọn phương án thiết kế cây năng lượng như trong hình vẽ bên dưới, với chiều cao khoảng 6m, bề ngang khoảng 2.5m, được ghép bởi 5 cột sắt ghép lại với nhau, mỗi trục là ống tròn gắn 2 turbine gió. Xen kẽ 5 trục chính là hệ thống khung đỡ 10 tấm pin mặt trời



Hình 1. Mô hình thiết kế cây năng lượng

2.1. Hệ thống đầu ra một chiều

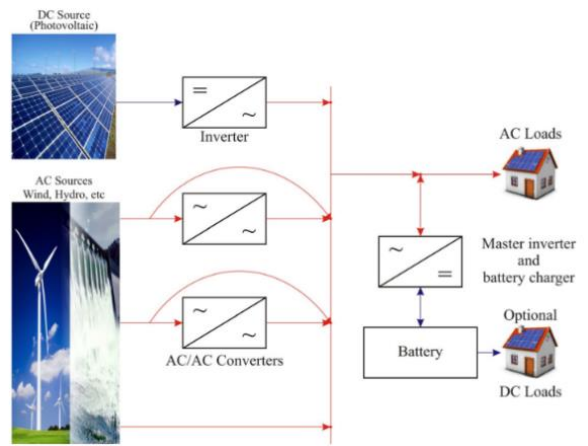
Trong hệ thống này, tất cả các nguồn phát được chuyển đổi sang một chiều nối chung tại thanh cái một chiều, sau đó được nạp vào ác quy và cuối cùng nó cung cấp công suất cho tải một chiều (DC loads) để thỏa mãn yêu cầu của phụ tải. Nếu muốn sử dụng thêm điện xoay chiều, hệ thống có thể sử dụng biến tần để cấp điện cho phụ tải xoay chiều. Với hệ thống này cần các bộ chuyển đổi DC/DC và AC/DC để kết nối các nguồn với thanh cái DC Hình 2.



Hình 2. Hệ thống với kết nối thanh cái DC

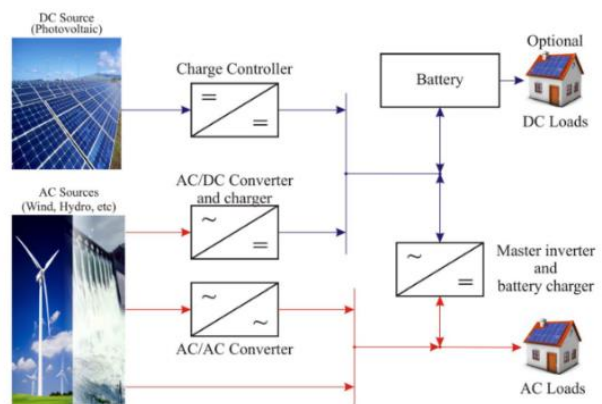
2.2. Hệ thống đầu ra xoay chiều

Hệ thống này bao gồm inverter để chuyển đổi DC/AC và các chuyển đổi AC/AC để kết nối các nguồn với thanh cái xoay chiều AC. Công suất AC được cấp trực tiếp cho phụ tải xoay chiều qua thanh cái AC. Trong khi đó, nếu muốn cung cấp cho phụ tải DC thì cần thiết phải có thêm bộ chuyển đổi AC/DC và ác quy trước khi cấp điện cho phụ tải một chiều, Hình 3.



Hình 3. Hệ thống với kết nối thanh cái AC

2.3. Hệ thống đầu ra hỗn hợp



Hình 4. Hệ thống với kết nối thanh cái AC và DC

Hệ thống này có thể chuyển đổi sao cho một số nguồn vừa kết nối với thanh góp một chiều và một số khác thì kết nối thanh góp xoay chiều. Hệ thống sau đó có thể kết nối với một inverter chủ để có thể vừa cấp điện cho bộ lưu trữ vừa cấp điện cho tải xoay chiều

Đối với hệ thống cây năng lượng được nghiên cứu lắp đặt, nhóm tác giả lựa chọn phương án sử dụng mô hình đầu tiên với các nguồn được chuyển đổi sang điện một chiều

3. Tính toán thiết kế phần kết cấu và kiểm tra độ ổn định của cây năng lượng

3.1. Yêu cầu thiết kế

Yêu cầu thiết kế một cây năng lượng được dùng để đặt 10 tuabin gió trục đứng và 10 tấm pin năng lượng mặt trời 100W. với thông số như sau:

- *Tuabin gió:
 - Khối lượng: 12 kg;
 - Đường kính cánh quạt: $\Phi 0,47$ m;
 - Chiều cao cánh quạt: 0,82 m;
 - Chiều cao tua bin: 0,96 m;
 - Tốc độ gió định mức: 11 m/s.
- *Tấm pin năng lượng mặt trời 100W:
 - Kích thước: 670x850x30 mm;
 - Khối lượng: 7kg.

3.2. Thiết kế và lựa chọn vật liệu cho phần kết cấu cây năng lượng

Dựa vào yêu cầu thiết kế ở trên, nhóm tác giả thiết kế cây năng lượng gồm 5 ống Φ90x5,5 mm, bằng thép đúc không có mối hàn, ghép lại, có chiều cao tổng thể 6,7 m, đường kính trên đỉnh 4,2 m. Tính chất cơ học vật liệu thép ống (tiêu chuẩn AASTM A53/A53M-10):

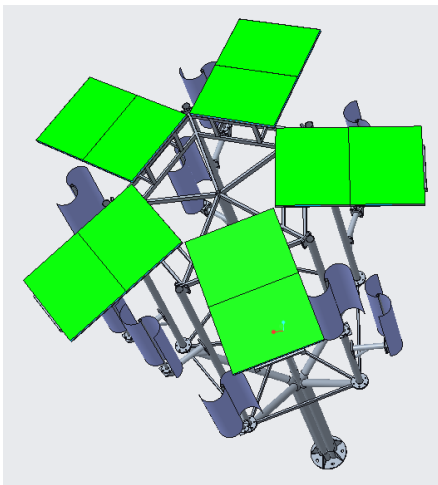
Kết cấu cây năng lượng gồm các bộ phận:

- Phần thân dưới gồm 5 ống Φ90x5,5 mm bằng thép đúc được uốn và ghép lại với nhau bằng phương pháp hàn.

- Thanh đỡ trên gồm 5 ống Φ76x4,0 mm liên kết với thân dưới bằng bu lông – đai ốc. Một thanh đỡ trên được dùng để lắp 2 tua bin gió.

- Khung giằng trên để liên kết các thanh đỡ trên bằng bu lông – đai ốc và để lắp 10 tấm pin năng lượng mặt trời.

Để thuận lợi cho quá trình gia công chế tạo cây năng lượng, tác giả sử dụng phần mềm Creo 5.0 để thiết kế mô hình 3D (Hình 5):



Hình 35. Mô hình 3D cây năng lượng

3.3. Kiểm tra độ bền cây năng lượng

3.3.1. Tải trọng gió tác dụng cây năng lượng

Do cây năng lượng có chiều cao 6 m (thấp hơn 40 m) nên không xét đến tải trọng động của gió. Áp dụng TCVN 2737-1995: Tải trọng và tác động tiêu chuẩn thiết kế để tính lực gió.

a. Lực gió tác dụng lên cánh quạt tua bin:

$$P_{tb} = 0,613 \cdot v^2 \cdot k \cdot c_1 \cdot F_{tb} \tag{1}$$

Trong đó:

v = 36 m/s: vận tốc của gió tương ứng cấp bão 12;

k = 0,9: hệ số tính đến sự thay đổi áp lực gió theo độ cao;

c₁ = 0,8: hệ số khí động của gió;

F_{tb} = 0,3854 m²: diện tích quét của tua bin gió.

Vậy: P_{tb} = 220,45 N

b. Lực gió phân bố tác dụng lên trụ chính:

$$P_{tr} = 0,613 \cdot v^2 \cdot k \cdot c_2 \cdot F_{tr} \tag{2}$$

Trong đó:

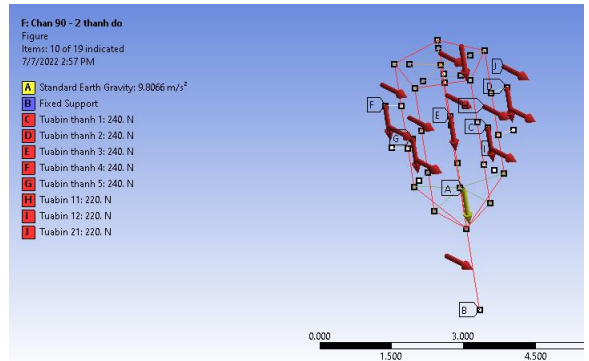
c₂ = 0,7: hệ số khí động của gió;

F_{tr} = 0,09 m : bề rộng của trụ chính.

Vậy: P_{tr} = 51,48 N/m

3.3.2. Kiểm tra độ bền

Dựa vào thiết kế cây năng lượng, ta xây dựng mô hình cây năng lượng trong phần mềm Ansys 18.2 để tính toán độ bền. Sử dụng TCVN 5575: 2012: Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế để kiểm tra bền cho cây năng lượng.



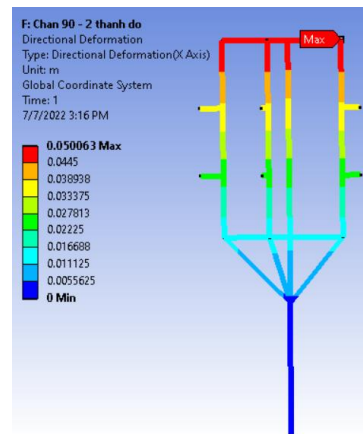
Hình 6. Mô hình tính toán cây năng lượng

a. Chuyển vị

Theo 11.4.4, độ lệch ngang tương đối với tải trọng gió không được vượt quá 1/100 so với chiều cao. Kết quả chuyển vị theo phương X như Hình 7:

$$\delta_x = 0,050 \text{ m} < \frac{H}{100} = \frac{6,7}{100} = 0,067 \text{ m}$$

Như vậy, chuyển vị theo phương X thỏa mãn điều kiện chuyển vị ngang.



Hình 7. Kết quả chuyển vị theo phương X

b. Kiểm tra điều kiện bền

Cây năng lượng gồm các thanh chịu uốn, nên đồng thời, nên điều kiện bền theo TCVN 5575-2012:

$$\frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y} \leq f \cdot \gamma_c = 177 \text{ Mpa} \tag{3}$$

γ_c – hệ số điều kiện làm việc, γ_c = 0,95.

f – cường độ tính toán của thép các bon, f = $\frac{f_y}{\gamma_M}$.

với: f_y – cường độ tiêu chuẩn lấy theo giới hạn chảy nhỏ nhất, f_y = 205 Mpa.

γ_M – hệ số tin cậy vật liệu, γ_M = 1,1.

$$f = \frac{205}{1,1} = 186,3 \text{ Mpa}$$

Công thức 3 có thể được viết lại:

$$\sigma_z \pm \sigma_x \pm \sigma_y \leq f_y \quad (4)$$

σ_z - Ứng suất do lực dọc trục gây ra.

σ_x, σ_y - Ứng suất uốn trong mặt phẳng x-x, y-y

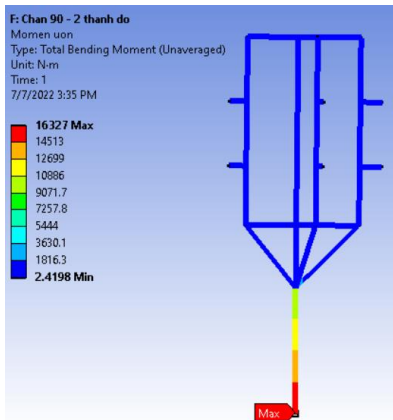
Khai thác kết quả “Total Bending Moment” trong phần “Solution” của Ansys Mechanical [24], ta có: $M_x = 16,327$ Nm. Cây năng lượng gồm 5 trụ ghép lại, nên momen uốn của mỗi trụ là: $M_x = 3,265$ Nm. Momen uốn trong mp y-y của 01 trụ là: $M_y = 23$ Nm. Lực dọc trục lớn nhất của 01 trụ là: $N = 1,196$ N

Trụ chính có đường kính $\Phi 90 \times 5,5$ mm, nên có:

$$W_x = W_y = \frac{\pi D^3}{32} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right) = 29,6 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^3\text{)}$$

Vậy: $\sigma_z \pm \sigma_x \pm \sigma_y = 111,8 \text{ MPa} < 177$

Thỏa mãn điều kiện bền



Hình 8. Kết quả momen uốn lớn nhất của trụ chính

Tóm lại, với mô hình cây năng lượng đã thiết kế thỏa mãn các điều kiện bền đối với cấp gió lên đến cấp 12.

3.4. Hình ảnh thực tế cây năng lượng

Sau khi tính toán thiết kế và kiểm tra độ ổn định bằng phần mềm, nhóm tác giả đã thực hiện gia công chế tạo và lắp đặt cây năng lượng trên thực tế như trong các Hình 9



Hình 9. Chế tạo cây năng lượng thực tế

4. Tính toán lựa chọn các phần tử và kết nối hệ thống điện cho cây năng lượng

Hệ thống năng lượng của cây năng lượng đã được lựa

chọn là hệ thống đầu ra một chiều, với tất cả các nguồn phát được chuyển sang dạng điện một chiều nối chung với thanh cái một chiều, sau đó được nạp vào ác quy và cuối cùng nó cung cấp cho các loại tải DC và AC, lần lượt tính toán lựa chọn các phần tử.

4.1. Hệ thống nguồn điện gió

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả thực hiện tính toán và chế tạo turbine gió kiểu aeroleaf, với kích thước được trình bày như trên hình, vật liệu chế tạo được làm bằng nhôm công suất định mức trong điều kiện bình thường là 30W. Bộ điều khiển gió tốc độ thấp được sử dụng để chuyển đổi dòng điện xoay chiều từ đầu ra của các turbine gió thành điện một chiều và ổn định điện áp để kết nối với acquy (phần tính toán chế tạo và thử nghiệm được trình bày [24]).

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả thực hiện tính toán và chế tạo turbine gió kiểu aeroleaf, với kích thước được trình bày như trên hình, vật liệu chế tạo được làm bằng nhôm công suất định mức trong điều kiện bình thường là 30W. Bộ điều khiển gió tốc độ thấp được sử dụng để chuyển đổi dòng điện xoay chiều từ đầu ra của các turbine gió thành điện một chiều và ổn định điện áp để kết nối với acquy (phần tính toán chế tạo và thử nghiệm được trình bày [24]).



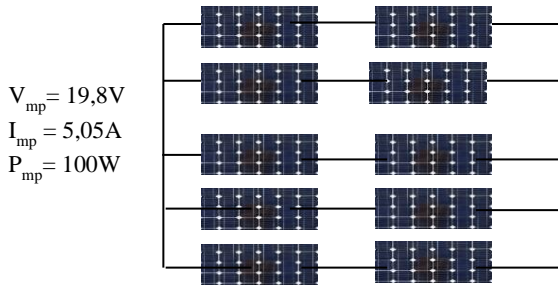
Hình 10. Mô hình và thực tế turbine gió trực đứng

4.2. Hệ thống nguồn năng lượng mặt trời

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã thực hiện tính toán thiết kế hệ thống năng lượng gồm 10 tấm pin 100W được bố trí trên đỉnh của cây năng lượng như Hình 9. Bộ điều khiển sạc năng lượng mặt trời được chế tạo với điện áp đầu vào phù hợp với hệ thống pin mặt trời và điện áp đầu ra phù hợp với hệ thống ác quy.

Tính toán thông số bộ điều khiển năng lượng mặt trời và số tấm pin mắc nối tiếp và song song:

Do việc tính toán thiết kế, kết cấu cũng như tính ổn định của cây năng lượng nên chỉ có thể bố trí 10 tấm pin trên 5 khung đỡ đặt phía trên cùng của cây. Do vậy, nhóm tác giả chọn loại tấm pin năng lượng với các thông số dây điện áp và dòng điện đầu ra mỗi tấm pin $V_{mp} = 19,8V$, $I_{mp} = 5,05A$, khối lượng 6,5kg, kích thước 670x850x30 mm. Nếu số tấm pin này được kết nối thành 10 tấm pin mắc song song với nhau thì gặp rất nhiều khó khăn trong lựa chọn thiết bị điều khiển năng lượng mặt trời tương ứng (V_{mp} , I_{mp} của bộ điều khiển lớn). Vì vậy, trong nghiên cứu này nhóm tác giả lựa chọn hệ thống lắp thành 5 chuỗi lắp song song, mỗi chuỗi 2 tấm pin mắc nối tiếp được thể hiện trên Hình 11.



Hình 11. Kết nối hệ thống pin mặt trời của cây năng lượng

Từ những nhận xét trên, điều kiện lựa chọn bộ điều khiển sạc cho hệ thống 10 pin mặt trời được nối thành 5 dây nối song song mỗi dây gồm 2 pin nối tiếp là:

$$V_{mp}^{dk} > 2.V_{mp} = 2 \times 19,8 = 39,6 (V) \quad (5)$$

$$I_{mp}^{dk} > 5.I_{mp} = 5 \times 5,05 = 25,25 (A) \quad (6)$$

Nhóm nghiên cứu lựa chọn được loại điều khiển sạc với các thông số sau:

- Dòng sạc tối đa: 30 A
- Điện áp áp quy: 12V / 24
- Điện áp ngõ vào PV tối đa: 50V

4.3. Bộ chuyển đổi inverter

Để chuyển đổi nguồn điện một chiều từ các nguồn năng lượng gió, mặt trời và ác quy của cây năng lượng sang xoay chiều để sử dụng cho các phụ tải xoay chiều, cần sử dụng bộ chuyển đổi thỏa mãn các yêu cầu sau:

Công suất định mức: $P > P_{gió\ max} + P_{mt\ max} = 1300 (W)$.

Điện áp xoay chiều đầu ra: 220/230/240 V.

Điện áp hở mạch DC: $V_{mp} > V_{mp}^{dk} = 39,6 (V)$.

Dựa vào điều kiện trên nhóm tác giả lựa chọn loại inverter có thông số như sau:

Công suất định mức: $P = 1500 (W)$.

Điện áp hở mạch DC: 60 (V).



Hình 12. Bộ chuyển đổi inverter

5. Lắp đặt cây năng lượng thực tế và đánh giá hiệu quả hoạt động cũng như tác động đến môi trường

Sau khi tính toán và thiết kế nhóm tác giả đã thực hiện chế tạo thí công lắp đặt cây năng lượng trong thực tế và đo lường đánh giá hoạt động của cây trong một khoảng thời gian dài và thu được một số kết quả đáng lưu ý sau:

- Tổng điện năng tạo ra trong một năm:

$$E_{cây\ NL} = E_{MT} + E_{gió} = 2195 + 99,76 = 2294,76 (kwh)$$

- Hiệu quả về tiết giảm lượng phát thải

Lượng phát thải giảm được = $E_{ac} \times$ hệ số phát thải đường cơ sở

Trong đó: Hệ số phát thải đường cơ sở = 0,5603 (tCO_2/MWh) [9]

$$\begin{aligned} \text{Lượng phát thải giảm được} &= (2,195 + 0,997) \times 0,5603 \\ &= 1,788 (\text{tấn } CO_2) \end{aligned}$$



Hình 13. Cây năng lượng được lắp đặt thực tế

- Đánh giá về chất lượng điện năng

- Điện áp và tần số

+ $U_{do} = 223,2 V$ (đạt theo yêu cầu của lưới điện hạ thế).

+ $f_{do} = 49,97Hz$ (đạt theo yêu cầu của lưới điện hạ thế).

- Sóng hài

Biến dạng sóng hài lớn nhất bậc 1: 1,7%, bậc 3: 1,6% còn lại là rất thấp (đảm bảo yêu cầu theo Thông tư 39/2015/TT-BCT).

- Đánh giá về tiếng ồn

Thông số đo tiếng ồn tại gần cây năng lượng: Giá trị đo được: 56,3Db;

Thông số đo tiếng ồn tại vị trí cách cây năng lượng 10m: Giá trị đo được: 51Db.

Đảm bảo yêu cầu ko gây về ô nhiễm tiếng ồn đến con người khi thực hiện các hoạt động, công việc xung quanh cây theo QCVN 24/2016/BYT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về tiếng ồn.



Hình 14. Các kết quả đo lường thực tế

6. Kết luận

Bài báo này đã trình bày nghiên cứu đề xuất một mô hình thiết kế, ứng dụng phần mềm Ansys để kiểm tra tính ổn định và bền của một cây năng lượng gồm 10 turbine gió kiểu aeroleft và 10 tấm pin mặt trời. Từ đó chế tạo, thực nghiệm trong một thời gian dài và lắp đặt thực tế tại một địa điểm công cộng của thành phố Đà Nẵng. Kết quả đánh giá cho thấy, điện năng được tạo ra bởi cây đảm bảo chất lượng điện năng và tiếng ồn tạo ra đạt tiêu chuẩn tiếng ồn cho khu dân cư. Hiệu quả cây năng lượng đem lại không chỉ được phát thải giảm được mà còn có ý nghĩa để quảng bá và khẳng định thành phố Đà Nẵng xứng đáng là một thành phố du lịch xanh, là thành phố “xanh, sạch, đẹp”.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Luu-Ngoc, T. Tran-Quoc, and S. Bacha “Sizing Optimization of an Isolated Photovoltaic-Diesel-Battery Hybrid System”, *IEEE/PES General Meeting*, 2014, pp. 1-5.
- [2] A. Ellis, C. Lenox, J. Johnson, and J. E. Quiroz, "Initial operating experience of the 1.2-MW La Ola photovoltaic system", *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference Photovoltaic*, 2012, pp. 1-6.
- [3] A. Kaabeche, M. Belhamel, and R. Ibtouen, “Sizing optimization of grid-independent hybrid photovoltaic/ wind power generation system”, *Energy*, vol 36, pp. 1214-1222, 2011.
- [4] Y. Ru, K. Jan, and M. Sonia, "Storage Size Determination for Grid-Connected Photovoltaic Systems”, *Sustainable Energy, IEEE Transactions on*, vol.4, no.1, pp.68-81, 2019.
- [5] A. Kornelakis and E. Koutroulis. "Methodology for the design optimisation and the economic analysis of grid-connected photovoltaic systems”, *IET Renewable Power Generation*, vol. 3, no 4, p. 476-492, 2009.
- [6] L. N. An and T. Q. Tuan “Dynamic Programming for Optimal Energy Management of Hybrid Wind–PV–Diesel–Battery”, *Energies*, vol 11, pp 1-16, 2018.
- [7] T. L. Q. Tran, N. A. Luu, and T. L. Nguyen, "Optimal energy management strategies of microgrids”, *2016 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, 2016, pp.1-6.
- [8] T. Nguyen, Q. Tran, R. Caire, N. Luu, and Y. Besanger, “Controller Hardware-in-the-loop Implementation for Agent-based Distributed Optimal Power Flow Using ADMM on Cyber-Physical Microgrids”, *IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia*, 2019, pp.1-6.
- [9] L. N. An “Control and management strategies for a Microgrid”, Lambert Academic Publishing, 2016.
- [10] A. Luu-Ngoc, T. Tran-Quoc, and S. Bacha “Control strategies of a hybrid PV-diesel-battery system in different operation modes”; *IEEE/PES (PowerTech-2019)*, 2019, pp1-6.
- [11] T. Tran-Quoc, “Dynamic analysis of a stand-alone hybrid PV-diesel system with battery storage”, *International Conference 6th European Conference on PV-Hybrids and Mini-Grids*. 2012, pp: 274-281.
- [12] A. Elmitwally and M. Rashed, “Flexible Operation Strategy for an Isolated PV-Diesel Microgrid Without Energy Storage”, *IEEE Trans. Energy conversion*, vol. 26, pp. 235-244, 2011.
- [13] M. Milosevic and G. Andersson, “Generation control in small isolated power systems”, *Proc. 37th North Amer. Power Symp.*, 2005, pp. 524-529.
- [14] S. Dolle and J. Priolkar, “Analysis of frequency control in isolated microgrids”, *IEEE PES Innovative Smart grid technologies*, 2011, pp: 167-172.
- [15] M. Ashari and C. V. Nayar, “An optimum dispatch strategy using set points for a photovoltaic (PV)-diesel-battery hybrid power system”, *Solar Energy*, vol. 66, no. 1, pp. 1-9, 1999.
- [16] M. Datta, T. Senjyu, A. Yona, T. Funabashi, and C-H. Kim, “A Frequency-Control Approach by Photovoltaic Generator in a PV–Diesel Hybrid Power System”, *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 26, no. 2, pp. 559–571, 2011.
- [17] Y. Riffonneau, S. Bacha, F. Barruel, and S. Ploix, “Optimal power flow management for grid connected PV system with batteries”, *IEEE Trans. Sustainable Energy*, vol. 2, pp. 309-320, 2011.
- [18] L. N. An and T. T. M. Dung “Optimal Design of Grid-Connected Photovoltaic – Battery Energy Storage System”. *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, vol. 1, no. 98, pp. 6-11, 2016.
- [19] L. N. An, T. P. Hien “Research Method for Assessing the Potential of Solar Power in Quang Ngai Province”. *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, vol. 7, no. 128, pp. 1-5, 2018.
- [20] D. M. Loc “Evaluation of the 47.5MW floating solar power project on Da Mi Lake”, Master’s thesis, The University of Danang, 2018.
- [21] L. Q. Bao “Research on the impact of wind power plants on the power grid”, Master’s thesis, The University of Danang, 2018.
- [22] L. Said-Moorhouse, “Solar-powered ‘supertrees’ breathe life into Singapore’s urban oasis”, *Cable News Network*, 2015, [Online] Available: <https://edition.cnn.com/2012/06/08/world/asia/singapore-supertrees-gardens-bay/index.html>, [Accessed: February 12, 2021].
- [23] V. Woollaston, “The wind turbine for your backyard: 26ft 'Wind Tree' uses tiny silent blades to generate electricity from light breezes”, *The Daily Mail*, 2016, [Online] Available: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3450924/The-wind-turbine-backyard-Wind-Tree-uses-tiny-blades-generate-electricity-light-breezes.html> [Accessed: February 18,2021].
- [24] H.-H. Lee, *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 2019: Theory, Applications, Case Studies*, SDC Publications, 2019.
- [25] L. N. An *et al.*, “Research, design, manufacture and installation of energy trees in Da Nang city”, Scientific research project of Danang City, 2022.