

VẬN HÀNH TỐI ƯU HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG TÒA NHÀ XANH

OPTIMIZATION OPERATION OF ENERGY MICRO-SYSTEM IN GREEN BUILDINGS

Trương Nam Hưng^{1,*}

TÓM TẮT

Bài báo trình bày bài toán vận hành tối ưu hệ thống năng lượng trong các tòa nhà có tích hợp các nguồn điện gió và mặt trời. Hệ thống năng lượng đề xuất dựa trên việc tích hợp nguồn điện gió, điện mặt trời và hệ thống ắc quy và các tải nhiệt, điện chính trong tòa nhà. Thuật toán vận hành tối ưu được xây dựng nhằm sử dụng tối đa năng lượng sạch từ các nguồn năng lượng xanh như gió, mặt trời và giảm thiểu năng lượng lấy từ hệ thống năng lượng quốc gia. Các mục tiêu tối ưu gồm: đảm bảo độ tin cậy cung cấp năng lượng cho tòa nhà, chi phí vận hành và ảnh hưởng môi trường của các khí thải NO_x , CO_2 . Bài toán được xây dựng và mô phỏng trong phần mềm Matlab.

Từ khóa: Tòa nhà xanh, năng lượng gió, điện mặt trời, ắc quy, tối ưu.

ABSTRACT

This paper presents a optimization of a energy micro system in green buildings integrated wind and solar energy sources. The presented energy micro system is composed of a wind energy conversion system, PV array, battery and main thermal – electric loads in a so called green buildings. The objective is to utilize clean energy from green energy sources such as wind and solar in order to reduce outcome electricity from the national grid. Reliability, the operation cost as well as the reduction in emissions of NO_x , CO_2 are optimization objectives. The presented method of scheduling is formulated and simulated in Matlab. Several simulations are performed to realize the presentd method.

Keywords: Green building, wind energy, PV, battery, optimization.

¹Trường Đại học Điện lực

*Email: hungtn@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 20/01/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 23/02/2018

Ngày chấp nhận đăng: 26/02/2018

1. GIỚI THIỆU

Việc tiêu thụ năng lượng trong các tòa nhà ngày càng tăng đã ảnh hưởng tới việc đảm bảo an ninh năng lượng cũng như các vấn đề môi trường. Tại Việt Nam, các tòa nhà tiêu thụ khoảng 40% năng lượng điện của quốc gia. Đặc biệt, trong bối cảnh quá trình đô thị hóa và phát triển kinh tế mạnh mẽ tại Việt Nam dẫn đến việc quản lý sử dụng hiệu quả năng lượng trong tòa nhà và việc sử dụng các nguồn năng lượng sạch đang là vấn đề cần nhiều nghiên cứu.

Mô hình tòa nhà xanh (tòa nhà không tiêu thụ năng lượng từ lưới – ZEB) đã được nhiều nước nghiên cứu và tiến hành triển khai [1-5]. Mô hình tòa nhà xanh giúp giảm

lượng điện lấy từ lưới điện chính do tận dụng các nguồn điện gió, mặt trời được tích hợp trên mái nhà [1-3].

Sự tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo vào tòa nhà đã mở ra các cơ hội cho việc ứng dụng các hệ thống tích trữ năng lượng, đặc biệt là hệ thống tích trữ năng lượng dạng ắc quy. Ưu điểm của việc kết hợp hệ thống ắc quy với các nguồn năng lượng mới được trình bày trong các tài liệu [4-10]. Các tài liệu [6, 7] chỉ ra rằng có thể sử dụng hệ thống ắc quy để phân phối điện từ các nguồn năng lượng mới và giảm các hiệu ứng tiêu cực đối với chất lượng điện năng do tính gián đoạn của các nguồn năng lượng mới gây ra.

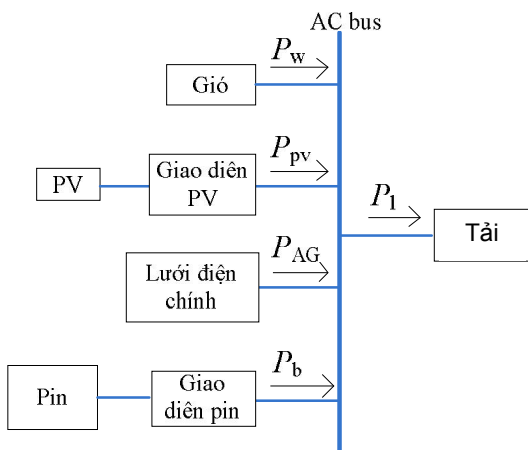
Bài báo này trình bày một chiến lược vận hành tối ưu cho hệ thống năng lượng lai cho tòa nhà xanh gồm các nguồn năng lượng gió, mặt trời, lưới điện chính kết hợp với hệ thống ắc quy có xét tới các ràng buộc về ô nhiễm tại các khu vực biệt lập. Hệ thống ắc quy được vận hành để đáp ứng đa nhiệm vụ gồm tối thiểu hóa chi phí vận hành lưới điện chính bằng việc sử dụng tối đa các nguồn năng lượng mới, đảm bảo cân bằng công suất, điều khiển tần số, điện áp,... Công suất năng lượng của hệ thống ắc quy sẽ gồm phần dự trữ năng lượng dương và âm để hạn chế đặc tính biến động theo thời tiết của các nguồn năng lượng mới cũng như đảm bảo việc sử dụng lưới điện chính là tối thiểu. Phương pháp được tiến hành trên phần mềm MATLAB, các kết quả mô phỏng cho thấy sự hiệu quả của phương pháp đề xuất.

2. THUẬT NGỮ

T	Thời gian tiến hành tối ưu (giờ)
$F(P_{AG}(t))$	Hàm chi phí nhiên liệu của lưới điện chính
c_0, c_1, c_2	Các hệ số chi phí nhiên liệu
$P_{AG}(t)$	Công suất trao đổi với lưới điện AC chính
$P_w(t)$	Công suất phát của hệ thống biến đổi năng lượng gió
$P_{pv}(t)$	Công suất phát của hệ thống năng lượng mặt trời
$P_b(t)$	Công suất trao đổi giữa hệ thống ắc quy và thanh cái AC
$P_l(t)$	Công suất nhu cầu của phụ tải
$P_{Renew}(t)$	Công suất phát của các nguồn năng lượng mới
P_{bmin}	Công suất giới hạn dưới của công suất hệ thống ắc quy
P_{bmax}	Công suất giới hạn trên của công suất hệ thống ắc quy

P_{AGmin}	Công suất giới hạn dưới của bộ biến đổi AC/DC nối với lưới điện
P_{AGmax}	Công suất giới hạn trên của bộ biến đổi AC/DC nối với lưới điện
P_{min-AG}	Công suất giới hạn dưới của bộ biến đổi AC/DC nối với lưới điện có xem xét trao đổi công suất ắc quy
P_{max-AG}	Công suất giới hạn trên của bộ biến đổi AC/DC nối với lưới điện có xem xét trao đổi công suất ắc quy
DOD	Độ sâu của việc phóng của hệ thống ắc quy
E_b	Công suất tích trữ của hệ thống ắc quy
E_{b0}	Trạng thái nạp của ắc quy tại thời điểm ban đầu của quá trình tối ưu hóa
$P_{b-in}(t)$	Công suất trong của hệ thống ắc quy
η_{dis}	Hiệu suất phóng của ắc quy
η_{ch}	Hiệu suất nạp của ắc quy
E_{Res}	Tổng lượng dự trữ trong hệ thống ắc quy
ΔP_{Renew}	Độ không chắc chắn của công suất phát từ các nguồn năng lượng mới tính theo giờ
ΔP_W	Độ không chắc chắn của công suất phát từ nguồn năng lượng gió
ΔP_{PV}	Độ không chắc chắn của công suất phát từ nguồn năng lượng mặt trời
ΔP_l	Độ không chắc chắn của nhu cầu tiêu thụ phụ tải
ΔT_{Res}	Thời gian yêu cầu mà lượng dự trữ phải đảm bảo sẵn sàng

3. MÔ TẢ HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG TRONG TÒA NHÀ XANH



Hình 1. Sơ đồ hệ thống điện lai

Hệ thống điện lai bao gồm các nguồn năng lượng gió, mặt trời, lưới điện chính và các phụ tải. Hệ thống ắc quy được tích hợp vào hệ thống điện nhằm hạn chế đặc tính phụ thuộc thời tiết của các nguồn năng lượng mới, đồng thời giảm việc tiêu thụ diesel, qua đó giảm ô nhiễm môi trường, tối thiểu hóa chi phí vận hành. Ngoài ra hệ thống ắc quy còn có thể được ứng dụng trong các nhiệm vụ khác

nhau như điều khiển điện áp, cung cấp năng lượng dự trữ, san bằng phụ tải,... Hình 1 mô tả hệ thống điện lai và các dòng công suất tương ứng cung cấp điện cho phụ tải trong tòa nhà. Giả thiết rằng các nguồn năng lượng gió, mặt trời, hệ thống ắc quy, lưới điện chính, tải được nối với thanh cái điện xoay chiều. Máy phát điện gió được nối với thanh cái AC. Hệ thống ắc quy mặt trời được nối với thanh cái AC qua một bộ biến đổi một chiều thành xoay chiều (DC/AC). Lưới điện chính được nối trực tiếp với thanh cái AC. Hệ thống ắc quy Vanadium Redox (VRB) được sử dụng và được nối qua một bộ biến đổi một chiều thành xoay chiều trước khi nối với thanh cái AC. Hệ thống ắc quy VRB được sử dụng bởi vì công suất và năng lượng của ắc quy có thể được chọn một cách độc lập với nhau, do đó ta có thể chọn dung lượng cho hệ thống ắc quy một cách tối ưu. Chiến lược vận hành cho hệ thống điện lai này là sử dụng triệt để các nguồn năng lượng sạch và do vậy giảm chi phí vận hành cũng như khí thải ra môi trường bằng việc ứng dụng hệ thống tích trữ năng lượng dưới dạng ắc quy.

4. CHIẾN LƯỢC VẬN HÀNH HỆ THỐNG ĐIỆN LAI TRONG TÒA NHÀ

4.1. Phương pháp

Thuật toán tối ưu này được thành lập và thực hiện trong phần mềm MATLAB. Bài toán là tối ưu phi tuyến có ràng buộc và sử dụng phương pháp lập trình bình phương liên tục. Để xây dựng bài toán, một số giả thiết sau được sử dụng:

- Công suất của các nguồn năng lượng gió và mặt trời được dự đoán theo từng giờ là sẵn có. Độ sai số của dự đoán được cung cấp dưới dạng tỉ lệ phần trăm của công suất lắp đặt.
- Đường cong công suất tiêu thụ dự đoán của phụ tải và giá mua điện vào từng giờ cũng sẵn có.
- Các đặc tính kỹ thuật của hệ thống ắc quy như công suất, năng lượng, mức độ phóng, hiệu suất phóng, sạc,... được cung cấp.
- Các kết quả của quá trình tối ưu hóa là biểu đồ công suất phát theo giờ của hệ thống ắc quy, biểu đồ phát điện theo giờ của lưới điện chính, chi phí vận hành tối ưu hóa của hệ thống điện lai, lượng khí thải CO₂, NO_x.

4.2. Bài toán

Mục tiêu của bài toán là đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện và sử dụng tối đa các nguồn năng lượng mới, do vậy sẽ dẫn tới chi phí vận hành và lượng khí thải là tối thiểu. Do vậy, hàm mục tiêu của bài toán là tối thiểu hóa chi phí vận hành và được mô tả như sau:

$$\min(\sum_{t=1}^T F(P_{AG}(t))) \tag{1}$$

Hàm chi phí mua điện được xác định theo công thức sau:

$$F(P_{AG}(t)) = \begin{cases} c_{low} P_{AG}(t) & \text{in low demand hour} \\ c_{high} P_{AG}(t) & \text{in high demand hour} \end{cases} \tag{2}$$

Hay hiểu theo một cách khác thì năng lượng từ mặt trời và gió sẽ được điều độ một cách tối ưu nhờ có sự giúp đỡ của hệ thống ắc quy. Như vậy tiêu thụ nhiên liệu sẽ là nhỏ nhất. Điều này dẫn tới chi phí vận hành của hệ thống và lượng khí thải cũng sẽ là tối thiểu. Hàm mục tiêu sẽ chịu các ràng buộc sau:

1) Cân bằng giữa công suất phát và nhu cầu của phụ tải tại từng thời điểm:

$$P_w(t) + P_{pv}(t) + P_{AG}(t) + P_b(t) - P_l(t) = 0 \quad (3)$$

$$P_{Renew}(t) = P_w(t) + P_{pv}(t) \quad (4)$$

Phương trình (3) đúng với mọi thời điểm. P_b có hai hướng tùy theo thời điểm hệ thống ắc quy là nạp năng lượng hay xả. Nếu hệ thống ắc quy ở trạng thái nạp điện thì dấu của P_b là âm và ngược lại nếu ắc quy ở trạng thái phóng thì công suất P_b có dấu dương.

2) Công suất trao đổi giữa hệ thống ắc quy và thanh cái AC được xác định theo công thức sau:

$$P_b(t) = -P_{Renew}(t) - P_{AG}(t) + P_l(t) \quad (5)$$

Do công suất của hệ thống ắc quy phải nằm trong giới hạn cho phép nên sẽ có các ràng buộc bất phương trình sau:

$$P_{bmin} \leq P_b(t) \leq P_{bmax} \quad (6)$$

Thay thế (5) vào (6):

$$P_{bmin} \leq -P_{Renew}(t) - P_{AG}(t) + P_l(t) \leq P_{bmax} \quad (7)$$

Ràng buộc này trở thành:

$$P_{AG}(t) \leq -P_{bmin} - P_{Renew}(t) + P_l(t) \quad (8)$$

$$P_{AG}(t) \geq -P_{bmax} - P_{Renew}(t) + P_l(t) \quad (9)$$

3) Công suất phát của lưới điện chính cũng phải nằm trong giới hạn theo nhà sản xuất cho phép:

$$P_{AGmin} \leq P_{AG}(t) \leq P_{AGmax} \quad (10)$$

Do vậy, hai giới hạn công suất mới đối với công suất lưới điện chính được xác định như sau:

$$P_{min-AG} = \max(-P_{bmin} - P_w(t) - P_{pv}(t) + P_l(t), P_{AGmin}) \quad (11)$$

$$P_{max-AG} = \min(-P_{bmax} - P_w(t) - P_{pv}(t) + P_l(t), P_{AGmax}) \quad (12)$$

$$P_{min-AG} \leq P_{AG}(t) \leq P_{max-AG} \quad (13)$$

Các ràng buộc này phải đáp ứng tại mọi thời điểm vận hành.

4) Trạng thái nạp của ắc quy phải nằm trong giới hạn cho phép. Theo dòng công suất như hình 1, hàm mục tiêu phải chịu thêm ràng buộc sau:

$$E_b \cdot (1 - DOD) \leq E_{b0} - \sum_{t=1}^T P_{b-in}(t) \leq E_b \quad (14)$$

Công suất của hệ thống ắc quy xét tới cả hiệu suất tải và nạp được tính theo công thức sau:

$$P_{b-in}(t) = \begin{cases} (-P_{Renew}(t) + P_l(t) - P_{AG}(t)) / \eta_{dis} & P_b \geq 0 \\ (-P_{Renew}(t) + P_l(t) - P_{AG}(t)) \cdot \eta_{ch} & P_b < 0 \end{cases} \quad (15)$$

Hai ràng buộc bất phương trình này phải được đáp ứng tại mọi thời điểm vận hành.

5. CÁC KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

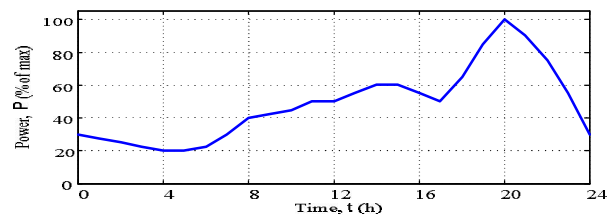
5.1. Các giả thiết về hệ thống

Để mô phỏng kiểm chứng phương pháp đề xuất trên, giả thiết rằng hệ thống điện lai trong tòa nhà bao gồm các thành phần sau: Hai tua bin gió công suất định mức 100kW, hệ thống năng lượng mặt trời có công suất 50kW, một hệ thống ắc quy VRB công suất là 200kW và năng lượng định mức là 500kWh. Các hiệu suất nạp và phóng của ắc quy lần lượt là 90% và 80%. Độ phóng sâu (DOD) là 80%. Do sự không chắc chắn của các nguồn năng lượng gió và mặt trời nên hệ thống ắc quy được phân bổ một phần công suất dự trữ dương và âm. Giả thiết rằng dự đoán về việc phát điện của các nguồn năng lượng gió và mặt trời có độ lệch là 20% so với công suất định mức. Do vậy, các phần dự trữ dương và âm sẽ là 50kWh, trong đó bao gồm 40kWh là của nguồn năng lượng gió và 10kWh là của năng lượng mặt trời. Bảng 1 trình bày tóm tắt các thông số chính về hệ thống điện lai.

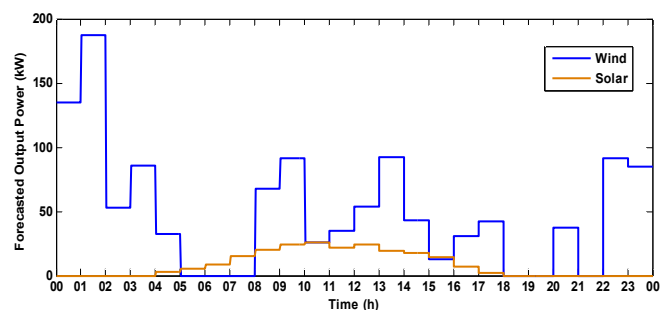
Bảng 1. Các thông số chính của hệ thống

Thành phần	Thông số
Tuabin gió	200 kW
Mặt trời	50 kW
Hệ thống ắc quy	500 kWh, 200 kW: \pm Dự trữ 50 kWh DOD: 100 kWh Công suất vận hành: 300 kWh
Tải	Công suất max: 204 kVA; Hệ số tải: 0.85

Phụ tải một tòa nhà điển hình tại Việt Nam được lựa chọn với đường cong phụ tải như hình 2 [12]: Công suất lớn nhất của tải là 204 kVA và hệ số tải là 0,85. Hình 3 mô tả dự báo phát điện từ các nguồn năng lượng mới.



Hình 2. Đường cong của phụ tải



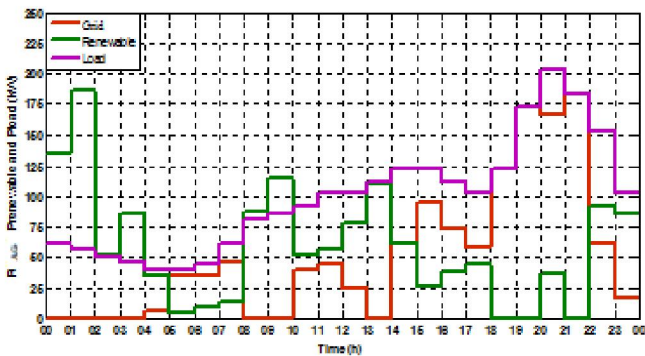
Hình 3. Dự báo công suất phát của các nguồn năng lượng mới theo ngày

Hai bối cảnh khác nhau được mô phỏng. Trong trường hợp thứ nhất, các nguồn năng lượng mới và lưới điện chính cùng cung cấp điện cho phụ tải. Đối với bối cảnh này thì quá trình tối ưu cũng không được tiến hành. Trong trường hợp thứ hai, hệ thống ắc quy được tích hợp vào cùng với lưới điện chính, các nguồn năng lượng mới để cung cấp

cho nhu cầu phụ tải. Bài toán tối ưu được tiến hành để tối thiểu hóa chi phí vận hành và khí thải ô nhiễm môi trường.

5.2. Trường hợp 1: Cung cấp điện cho phụ tải bằng lưới điện chính và các nguồn năng lượng mới, không có hệ thống ắc quy

Trong trường hợp này các nguồn năng lượng mới và lưới điện chính cùng cung cấp cho phụ tải. Công suất dư thừa từ các nguồn năng lượng mới là lãng phí. Do tính gián đoạn của các nguồn năng lượng mới, lưới điện chính phải cung cấp điện liên tục thậm chí ngay cả khi các nguồn năng lượng mới đủ đáp ứng nhu cầu phụ tải. Các kết quả mô phỏng cho trường hợp này được thể hiện trên hình 4.

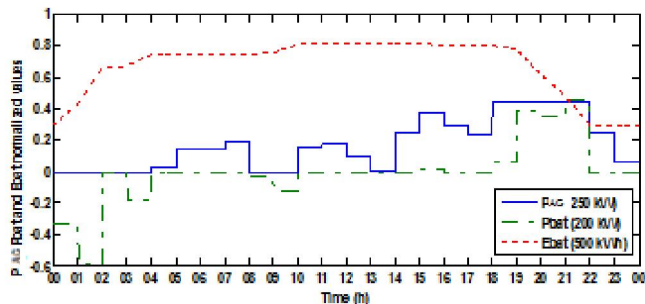


Hình 4. Trường hợp 1: Vận hành hệ thống khi không có ắc quy

5.3. Trường hợp 2: Cung cấp tải bằng lưới điện chính, các nguồn năng lượng mới và hệ thống ắc quy

Trong trường hợp này, các nguồn năng lượng mới, lưới điện chính và hệ thống ắc quy cùng cung cấp cho tải. Bài toán tối ưu mà bài báo trình bày sẽ được thực hiện đối với trường hợp này. Hình 5 tóm tắt các kết quả mô phỏng.

Tiêu thụ năng lượng và ô nhiễm môi trường của hệ thống được giảm xuống. Tổn thất năng lượng trong trường hợp có ắc quy nhỏ hơn rất nhiều so với năng lượng dư thừa trong trường hợp 2. Vì hệ thống ắc quy có thể cung cấp điện trong trường hợp mà công suất từ các nguồn năng lượng mới giảm đột ngột, nên hạn chế việc phải mua điện từ lưới điện chính. Hay nói cách khác thì công suất dự phòng trong các giờ cao điểm là từ ắc quy. Công suất trao đổi với lưới điện chính, công suất và trạng thái nạp của ắc quy được mô tả trên hình 5. Trên hình ta thấy hệ thống ắc quy được phóng thấp nhất tại thời điểm cuối ngày và hệ thống điện được vận hành với tiêu thụ năng lượng từ lưới điện quốc gia là nhỏ nhất.



Hình 5. Công suất trao đổi với lưới điện chính, công suất và trạng thái nạp của hệ thống ắc quy

Với phương pháp đề xuất, năng lượng xanh từ các nguồn điện gió và mặt trời được tận dụng tối đa, qua đó giảm sự phụ thuộc vào lưới điện quốc gia. Khi lưới điện chính gặp sự cố, hệ thống ắc quy và các nguồn năng lượng mới có thể đảm bảo sự cung cấp điện một cách liên tục cho một số phụ tải quan trọng. Nhiệm vụ này làm tăng giá trị của hệ thống ắc quy khi được ứng dụng tại các vùng xa xôi hoặc đảo.

6. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày bài toán vận hành tối ưu cho hệ thống năng lượng lai trong các tòa nhà xanh có tích hợp các nguồn điện gió, mặt trời và hệ thống ắc quy. Các nguồn năng lượng mới cùng với lưới điện chính và hệ thống ắc quy cung cấp cho phụ tải. Bài báo tập trung chính vào việc chỉ ra các khả năng mà hệ thống ắc quy có thể nâng cao chất lượng vận hành trong việc giảm chi phí và ô nhiễm môi trường trong các hệ thống năng lượng tòa nhà xanh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. R. Hunter and G. Elliot, 1994. "Wind-Diesel Systems: A Guide to the Technology and Its Implementation. Cambridge". U.K.: Cambridge Univ. Press.
- [2]. F. Katiraei and C. Abbey, 2007. "Diesel plant sizing and performance analysis of a remote wind-diesel microgrid". in Proc. IEEE Power Eng. Soc General Meeting, Jun. 24–28, 2007.
- [3]. P. Lautier, M. Prévost, and P. Martel, 2007. "Off-grid diesel power plant efficiency optimization and integration of renewable energy sources". in Proc. IEEE Can. Electrical Power Conf, Montréal, QC, Canada, Oct. 2007.
- [4]. S. C. Smith, P. K. Sen, B. Kroposki, 2008. "Advancement of Energy Storage Devices and Applications in Electrical Power System". in Proc. 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical of Electrical Energy in the 21th Century.
- [5]. H. Ibrahim, A. Ilinca, J. Perron, 2007. "Conversion and Analysis of Different Energy Storage Techniques Based on their Performance Index". in Proc. Electrical Power Conf. (EPC 2007), IEEE Canada.
- [6]. K. Qian, C. Zhou, Z. Li, Y. Yuan, 2009. "Benefits of Energy Storage in Power Systems with High Level of Intermittent Generation". in Proc. 20th International Conf. on Distribution - Part 1 (CIRED 2009). Prague, Czech Republic.
- [7]. S. Faias, P. Santos, F. Matos, J. Sousa, R. Castro, 2008. "Evaluation of Energy Storage Devices for Renewable Energies Integration: Application to a Portuguese Wind Farm". in Proc. 5th International Conf. on European Electricity Market (EEM 2008), Lisbon, Portugal.
- [8]. K. Ki-Hyeok, W. Dong-Jun, 2009. "Power Management Strategy of Stand-Alone Hybrid System to reduce the operation mode changes". Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, Seoul.
- [9]. A. M. Van Voorden, G.C. Paap, 2005. "The Use of Batteries in Stand-alone Renewable Power Systems". Power Tech, 2005 IEEE Russia.
- [10]. R. Chedid, S. Rahman, 1997. "Unit Sizing and Control of Hybrid Wind-Solar Power Systems". IEEE Trans. On Energy Conversion, May 1997.
- [11]. www.dieselserviceandsupply.com
- [12]. "Benchmark Systems for Network Integration of Renewable and Distributed Energy Resources". CIGRE Technical Brochure, Task Force C6.04.02, 2011.