



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش : قدرت

عنوان : ذخیره سازی انرژی در سیستم های قدرت

استاد راهنما : دکتر کاوه نظامی زاده

نگارش : محمد امیری

تابستان ۸۹

۱	فصل ۱ ذخیره سازی انرژی چیست؟	۱-۱	مقدمه
۲	۲-۱ نقش بازاریابی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر	۲-۲	مدت زمان سیکل شارژ و دشارژ باتری
۳	۳-۱ روش های ذخیره سازی انرژی الکتریکی	۳-۲	باتری های برمید پلی سولفید (PSB)
۴	۴-۱ کاربرد های مختلف ذخیره سازی برق	۴-۲	باتری های وانادیم (VRB)
۵	۵-۱ تکنولوژی های مربوط به ذخیره سازی انرژی الکتریکی	۵-۲	باتری های برمید روی (ZnBr)
۶	۶-۱ ذخیره سازی از طریق باتری های کاربرد	۶-۲	باتری های سولفید سدیم (NaS)
۷	۷-۱ مقدمه ۱-۲	۷-۲	باتری های یون لیتیم
۸	۸-۱	۸-۲	بررسی یک مورد بکار رفته از این فناوری
۹	۹-۱	فصل ۳ ذخیره سازی انرژی با هوای فشرده (CAES)	۱-۳
۱۰	۱۰-۱	۲-۳	انواع و الزامات سیستم های CAES
۱۱	۱۱-۱	۳-۳	مفاهیم اولیه ی فناوری CAES
۱۲	۱۲-۱	۴-۳	اجزای سیستم CAES
۱۳	۱۳-۱	۵-۳	عملکرد گروه برق آزمایشگاه پروژه برق
۱۴	۱۴-۱	۶-۳	استفاده از CAES در نیروگاه گازی
۱۵	۱۵-۱	۷-۳	مزایا و معایب سیستم های CAES
۱۶	۱۶-۱	۸-۳	ظرفیت انرژی هوای فشرده
۱۷	۱۷-۱	۹-۳	تزریق هوا در CAES
۱۸	۱۸-۱	۱۰-۳	مطالعه حقوقی برق
۱۹	۱۹-۱	۱۱-۳	دلایل عدم اقبال جهانی CAES
۲۰	۲۰-۱	۱۲-۳	ساخت و برنامه ریزی آینده CAES
۲۱	۲۱-۱	فصل ۴ نیروگاه های آبی تلمبه ذخیره ای دور متغیر	۱-۴
۲۲	۲۲-۱		
۲۳	۲۳-۱		
۲۴	۲۴-۱		
۲۵	۲۵-۱		
۲۶	۲۶-۱		
۲۷	۲۷-۱		
۲۸	۲۸-۱		
۲۹	۲۹-۱		





## چکیده:

ذخیره سازی انرژی برق یکی از مباحث مهم صنعت برق کشور به شمار می آید. از آن گذشته استفاده مداوم از انرژی برق به دلیل کم باری در برخی از ساعات و در مدار قرار داشتن همه نیروگاهها امکان پذیر نیست. در مقاله زیر به روشهای ذخیره سازی برق در ایستگاههای قدرت اشاره شده است.

یکی از مسائلی که امروزه در سیستم های قدرت به ویژه شبکه قدرت ایران بسیار مورد توجه برنامه ریزان و بهره

برق برداران سیستم قرار دارد، تغییرات زیاد و عدم یکنواخت بودن منحنی بار در ساعات مختلف شبانه روز است. این موضوع منجر شده است تا تنها در ساعات پیک بار از تمامی ظرفیت نصب شده تولید کشور استفاده شود و در ساعات کم باری و میان باری مقدار زیادی از ظرفیت نصب شده خارج از مدار باشد که این مطلب به

معنای خواب سرمایه است. این مشکل کمابیش در شبکه های قدرت دنیا که دارای منحنی های بار با تغییرات زیاد هستند مشاهده می شود. این موضوع محققان را بر آن داشته است تا با نگاهی به تحریبات بشر و پیش زمینه ذخیره سازی از دیرباز، در اندیشه ذخیره کردن انرژی الکتریکی باشند. از آنجا که هزینه تولید برق و قیمت فروش آن در ساعات مختلف شبانه روز با توجه به راه افتادن بازار برق، تفاوتی چشمگیری دارد، بنابراین ایده

ذخیره سازی برق در ساعات غیر پیک (برق ارزان) و استفاده از آن در ساعات پیک (برق گران) مطرح شد. از سوی دیگر تقاضای روز افزون انرژی در بخش های مختلف جوامع مختلف را با چالش بزرگی روبرو ساخته است. افزایش روز افزون مصرف انرژی نیاز به تولید هرچه بیشتر آنرا ضروری ساخته است. در همین زمان

ابزارهای لازم برای تولید انرژی با مشکلات زیادی روبرو می باشند. معاهده های بین المللی با هدف کاهش سطح آلودگی افزایش یافته اند و افزایش جهانی دمای هوا باعث حرکت به سوی محدود شدن انتشارات دی اکسید کربن شده است. این مسائل باعث جایگزینی روش های قدیمی تولید انرژی با روش های جدید می شود.

پاره ای از روش های جدید هنوز در دست بررسی هستند مانند تولید انرژی به کمک چوش هسته ای و تعدادی دیگر از آنها متکی به شرایط آب و هوایی می باشند مانند انرژی بادی، خورشیدی و انرژی هیدروالکتریک. این روش های جدید مزایای عمده ای نسبت به روش های قدیمی تولید انرژی دارند ولی با این وجود چالش های زیادی در استفاده از آنها وجود دارد. خروجی روش های متداول تولید انرژی به سادگی قابل تنظیم برای

احتیاجات مختلف می باشد در حالی که به علت وابستگی منابع جدید به طبیعت و شرایط آب و هوایی ممکن است خروجی آنها مطابق با مقدار انرژی مورد نیاز نباشد. خروجی این منابع در دوره های روزانه، ماهانه و سالانه ممکن است نوسان زیادی داشته باشد. در عین حال میزان تقاضا نیز ممکن است به طور روزانه، ماهانه و

سالانه تغییر پیدا کند. از این سو ما نیاز به روشی داریم که در مواقع زیادی انرژی آنرا ذخیره نماید و در مواقع کمبود از انرژی ذخیره شده استفاده نماید. تنها در این صورت می باشد که ما می توانیم به منابع انرژی

دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق  
 خورشیدی، بادی و سایر منابع تجدید پذیر به عنوان یک منبع اصلی انرژی تکیه نماییم. دلایل دیگری برای ذخیره دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق وجود دارد. با توجه به نوع ذخیره سازی استفاده از این نوع سیستم ها می تواند باعث کنترل و دانشکده مهندسی گروه برق  
 برآورده سازی تقاضا در مواقع پیک بار شود. ذخیره سازی انرژی این اجازه را می دهد که تولید و توزیع برق دانشکده مهندسی گروه برق  
 در بالاترین ظرفیت خود انجام شود که باعث کاهش تقاضا برای خطوط جدید تولید و توزیع می شود. ذخیره دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق برای مدت زمان طولانی می تواند برای ایجاد تعادل در ولتاژ در مواقع پیک استفاده شود. دانشکده مهندسی گروه  
 در زمان کنونی نیاز زیادی به ذخیره سازی انرژی آن هم در مقیاس بالا وجود دارد. روش های مرسوم ذخیره دانشکده مهندسی گروه برق  
 سازی انرژی قابلیت کاربرد برای سیستم های با ظرفیت بالا را ندارند و میزان کارایی آنها نیز در حد بهینه نمی دانشکده مهندسی گروه برق  
 باشند. با این وجود روش های مختلف جدیدی در حال توسعه می باشند. بعضی از این روش ها بر پایه مفاهیم دانشکده مهندسی گروه برق  
 قدیمی می باشند که اکنون برای وسایل جدید مورد استفاده قرار گرفته اند و بعضی دیگر بر پایه ایده های کاملا دانشکده مهندسی گروه برق  
 جدیدی می باشند. بعضی از این روش ها از روش های دیگر پیشرفته تر می باشند ولی تمامی این روش ها رو به دانشکده مهندسی گروه برق  
 توسعه هستند. در این نوشتار تعدادی از جدیدترین تکنولوژی های مرتبط با ذخیره سازی انرژی معرفی می شوند دانشکده مهندسی گروه برق  
 که قابلیت کاربرد برای مقیاس های بالا را دارند. در این زمینه کلمه مقیاس بالا ممکن است که تعریف برای دانشکده مهندسی گروه برق  
 نداشته باشد و منظور مقیاسی برابر با مقیاس تولید انرژی باشد. در این زمینه توضیحاتی در مورد نحوه عملکرد و دانشکده مهندسی گروه برق  
 مزایا و معایب هر یک از تکنولوژی ها آمده است و در نهایت مقایسه ای بین تکنولوژی های مختلف در انتهای دانشکده مهندسی گروه برق  
 گزارش ارائه شده است دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق  
 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشکده مهندسی گروه برق



## فصل اول

### ۱-۱- مقدمه

در اصل، ذخیره سازی انرژی، یک تصمیم اقتصادی است. بدون ذخیره سازی، صنعت باید بتواند یک شبکه ی برق و انشعاب برق و انشعاب انرژی که در آنجا ذخیره سازی انرژی در آنجا وجود ندارد و نگرانی دارد که قادر به برآورده کردن بالاترین پیک سال در هر زمانی باشد.

بدون ذخیره سازی، صنعت باید در قالب یک چارچوب "بلادرنگ" کار کند که نه تنها وابسته به تقاضای متغیر برق و انشعاب انرژی است، بلکه کاملاً وابسته به لطف یکی از غیر قابل کنترل ترین متغیرهای شناخته شده است: آب و هوا. با ذخیره سازی، مالکین تنها باید آن چیزی را بسازند که برای یک بار سنگین اما عادی لازم

است. اینکه منجر به استفاده ی بیشتری از تجهیزات موجود شده و بنابراین بازگشت سرمایه (ROI) ی بیشتری از انشعاب انرژی خواهد داشت.

اگرچه الکتریسیته نمی تواند به طور مستقیم ذخیره شود (به شکل ارزان)، می تواند به آسانی در اشکال دیگر ذخیره شده و در هنگام نیاز به الکتریسیته تبدیل گردد. ارزش افزوده ی الکتریسیته در طول ساعات پیک می تواند

هزینه ی ذخیره سازی انرژی تولیدی در شب را پوشش دهد. هر چه تقاضا به گسترش خود ادامه می دهد، ذخیره سازی می تواند نقش حیاتی و چندکاره ای را بازی کند چرا که امکانات ذخیره سازی برای کار در محیط های دینامیک طراحی می شوند. دیگر عوامل معرفی فن آوری های ذخیره سازی شامل تأثیرات محیطی کاهش

یافته، حل بسیاری از چالش های مرتبط با استفاده افزایش یافته از منابع انرژی تجدیدپذیر، و افزایش ضریب امنیتی انرژی می باشد.

### ۱-۲- نقش بازار

ذخیره سازی انرژی با تغذیه ی توان در زمان و مکان مورد نیاز، موجب ایجاد یک بازار پاسخگو خواهد شد. این بازار:













دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.







## مراجع

### فصل اول و دوم

Andrei Ter-Gazarian, Energy storage for power systems, Institution of Electrical Engineers, 1994

### فصل سوم

1. ^ <http://www.energytower.org/cawegs.html>
2. ^ <sup>a b</sup> Wild, Matthew, L. Wind Drives Growing Use of Batteries, New York Times, July 28, 2010, pp.B1.
3. ^ "German AACAES project information". <http://www.bine.info/pdf/publikation/projekt0507englinternetx.pdf>. Retrieved 2008-02-22.
4. ^ [http://my.epri.com/portal/server.pt?Abstract\\_id=TR-101751-V2](http://my.epri.com/portal/server.pt?Abstract_id=TR-101751-V2)
5. ^ [http://www.westgov.org/wieb/electric/Transmission%20Protocol/SSG-WI/pnw\\_5pp\\_02.pdf](http://www.westgov.org/wieb/electric/Transmission%20Protocol/SSG-WI/pnw_5pp_02.pdf)
6. ^ Compressed-Air Propulsion
7. ^ <sup>a b</sup> 3-stage propulsion with intermediate heating
8. ^ <sup>a b</sup> "Distributed Energy Program: Compressed Air Energy Storage". United States Department of Energy. [http://www.eere.energy.gov/de/compressed\\_air.html](http://www.eere.energy.gov/de/compressed_air.html). Retrieved 2006-08-27.
9. ^ <http://www.answers.com/topic/solution-mining?cat=technology> ; <http://www.saltinstitute.org/12.html>
10. ^ <sup>a b</sup> Chambers's Encyclopaedia: A Dictionary of Universal Knowledge. W. & R. Chambers, LTD. 1896. pp. 252–253. <http://books.google.com/books?id=4pwMAAAAYAAJ&pg=PA252>. Retrieved 2009-01-07.
11. ^ Technische Mislukkingen by Lex Veldhoen & Jan van den Ende
12. ^ <http://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node33.html>
13. ^ Air - Density and Specific Weight, The Engineering Toolbox
14. ^ Gas cylinders -- High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles
15. ^ A History of the Torpedo The Early Days
16. ^ Engine PHEV-system schematic
17. ^ <sup>a b</sup> Pendick, Daniel (2007-11-17). "Squeeze the breeze: Want to get more electricity from the wind? The key lies beneath our feet". *New Scientist* **195** (2623): 4. <http://environment.newscientist.com/channel/earth/mg19526231.700-rocks-could-be-novel-store-for-wind-energy.html>. Retrieved 2007-11-17.
18. ^ Frequently Asked Questions
19. ^ <http://www.firstenergycorp.com/NewsReleases/2009-11-23%20Norton%20Project.pdf>







13. ^ F1 technical regulations
14. ^ - Flybrid Systems
15. ^ - Flybrid Systems, Road Car Application
16. ^ "ACO Technical Regulations 2008 for Prototype "LM"P1 and "LM"P2 classes, page 3" (PDF). Automobile Club de l'Ouest (ACO). 2007-12-20.  
[http://www.lemans.org/sport/sport/reglements/ressources/auto\\_2008/cdc\\_reglement\\_lmp\\_fr\\_gb\\_2008.pdf](http://www.lemans.org/sport/sport/reglements/ressources/auto_2008/cdc_reglement_lmp_fr_gb_2008.pdf). Retrieved 2008-04-10.
17. ^ Beacon Power Announces Testing of First Megawatt of Flywheel Energy Storage
18. ^ Flywheel-based Solutions for Grid Reliability
19. ^ rosseta Technik GmbH, Flywheel Energy Storage, German, retrieved February 4, 2010.
20. ^ Beacon Power Corp, Frequency Regulation and Flywheels fact sheet, retrieved February 22, 2010.

## فصل هشتم

- [1] Sandia National Laboratories, "Energy Storage Systems, Program Overview," January 1999.
- [2] Butler, P. C., "Battery Energy Storage for Utility Applications," Sandia Report, SAND94-2605, UC-212, October 1994.
- [3] Schoenung, S. M., Eyer, J. M., Iannucci, J. J., Horgan, S. A., "Energy Storage for a Competitive Power Market," *Annual Rev. Energy Environ.* 1996. 21: 347-70.
- [4] Schoenung, S. M., Burns, C., "Utility Energy Storage Application Studies," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 11, No. 3, pp. 658-65, Sept. 1996.
- [5] The Emerging Roles of Energy Storage in a Competitive Power Market: Summary of a DOE Workshop. Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, Report SAND95-8247, UC-406, June 1995.
- [6] Harty, F. R., Jr., Depenbrock, F., Ward, P. W., Shectman, D. L., "Options in Energy Storage Technologies," *The Electricity Journal*, Vol. 7, No. 6, July/Aug. 1994.
- [7] Linden, D., "Handbook of Batteries," MacGraw Hill, Inc., New York City, NY, 1995.
- [8] Koenig, A., Rasmussen, J., "Sodium/Sulfur Battery Engineering for Stationary Energy Storage," Contractor Report, SAND96-1062, UC-1350, April 1996.
- [9] Bechtel National, Inc., "Small Compressed Air Energy Storage Plants with Air Storage in Fabricated Vessels," prepared for Southern California Edison Company, November 1986.
- [10] Nakhamkin, M., Wolk, R., "Compressed Air Inflates, Gas Turbine Outputs," *Power Engineering*, pp. 38-40, March 1999.
- [11] Mike Gravely, American Superconductor Corporation, personal communication, April 1999.
- [12] "An Assessment of High-Temperature Superconductors for High-Field SMES Systems," EPRI Report, EPRI TR- 110719WO8920, November 1998.
- [13] Thomas, G., Guthrie, S., Wu, B., and Derickson, L., "Hydride Bed Technology Validation Project," Proceedings of the DOE Hydrogen Program 1999 Annual Peer Review, May 1999.



- دانشگاه زنجان و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و انشعاب زنجان و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و انشعاب زنجان و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و انشعاب زنجان
- [14] Schoenung, S. M., "Hydrogen Energy Storage Comparison," prepared for DOE under contract no. PE-FC36-96-GO10140, A003, March 1999.
- [15] Schoenung, S. M., Bieri, R. L., Meier, W. R., "Superconducting Magnetic Energy Storage Coil Size Analysis," report submitted to Oak Ridge National Laboratory, subcontract no. DE-AC05-84OR21400, Jan. 1994.
- [16] Swaminathan, S., Sen, R. K., "Electric Utility Applications of Hydrogen Energy Storage Systems," prepared for U. S. Dept. of Energy, Golden, CO, under contract No. DEFC36GO10170.
- [17] Ogden, J. M., Dennis, E., Steinbugler, M., Strohhahn, J. W., "Hydrogen Energy System Studies," submitted to the National Renewable Energy Laboratory, prepared for DOE under contract no. XR-11265-2, Jan. 18, 1995.
- [18] DiPietro, J. P., Badin, J. S., "Technology Characterizations for the E3 (Energy, Economic, Environment) Pathway Analysis," Cost and Performance Database, prepared for Hydrogen Program, Energy Efficiency and Renewable Energy, U. S. Dept. of Energy, April 1995.
- [19] Jay Keller, Sandia National Laboratories, personal communication, April 1998.
- [20] Schoenung, S. M., "Business and Development Plan for End-Use Energy Storage Technologies," prepared for EPRI under contract no. 6424-WO4897, December 1997.
- [21] David Haberman, DCH Technology, Inc., personal communication, April 1999.