



Presidency of I.R.IRAN
Center for Progress and Development (CPDI)

www.CPDI.ir

Future Energy Storage Technologies

Supercapacitors

No. ۱۰۰۳

Date of Release: ۲۰۱۸-۱۶- January

Abstract

Electrical energy storage devices have a key role in future world and supercapacitors are an attractive option in this domain.

Supercapacitors are much better than today's lithium-ion batteries in some features such as rate of charge and discharge (power density), life and thermal performance but they are much heavier, bulkier and more expensive compared to lithium batteries.

Research on supercapacitors is being pursued and it is likely that advanced supercapacitors with enhanced energy density be commercialized in near future.

It is predicted that supercapacitor market size would grow 10 fold in the next decade and a major part of this growth is due to electric and hybrid vehicles.

Hybrid systems with supercapacitor and battery in which the supercapacitor plays a supporting role for battery is the most probable.

Keywords: supercapacitor, energy storage, electrical energy.

چکیده

ابزارهای ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی نقش مهمی در دنیای امروز و آینده بازی می‌کنند و ابرخازن‌ها یکی از گزینه‌های مورد توجه در این زمینه هستند. ابرخازن‌ها در ویژگی‌هایی از جمله سرعت شارژ و تخلیه (چگالی توان)، عمر و کارایی دمایی نسبت به باتری‌های لیتیوم-یون امروزی بسیار بهتر هستند اما استفاده از آنها سبب افزایش شدید حجم، وزن و قیمت تمام شده می‌شود. تحقیقات بر روی ابرخازن‌ها در حال پیگیری است و احتمالاً در آینده نزدیک ابرخازن‌هایی با چگالی انرژی بهبود یافته به بازار خواهند آمد. در مجموع پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که بازار ابرخازن‌ها در ۱۰ سال آینده با رشدی حدوداً ۱۰ برابری روبرو باشد و بخش عمده‌ای از این رشد ناشی از توسعه کاربردهای ابرخازن در وسایل نقلیه هیبریدی و الکتریکی خواهد بود. قرارگیری ابرخازن در کنار باتری به‌عنوان پشتیبان در وسایل نقلیه الکتریکی، محتمل‌ترین سناریو در گام بعدی توسعه این ابزارها می‌باشد.

در این گزارش ضمن معرفی مختصری از اصول کارکرد ابرخازن‌ها، مقایسه‌ای بین مشخصات اصلی ابرخازن‌ها با باتری‌های لیتیوم-یون صورت گرفته است. در ادامه مواردی از کاربردهای این ابزارها در صنایع مختلف از جمله حمل‌ونقل بیان شده و برخی از پیشرفت‌های نویدبخش در این حوزه معرفی گردیده است. در نهایت سعی شده تا با توجه به نقاط ضعف و قوت این فناوری و همچنین در نظر گرفتن نظر برخی صاحب‌نظران در این حوزه، دورنمایی کلی از آینده این فناوری ترسیم شود.

واژه‌های کلیدی: ابرخازن، ذخیره‌سازی انرژی، انرژی الکتریکی.

به نام خدا

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۲	اصول کارکرد
۳	مقایسه با باتری‌ها
۴	کاربردها
۵	آینده

مقدمه

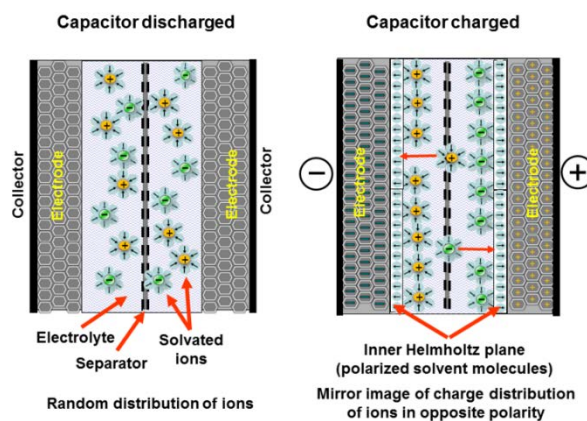
نقش ذخیره‌سازهای انرژی الکتریکی در صنایع و کاربردهای مختلف از جمله ابزارهای الکترونیکی قابل حمل، وسایل نقلیه الکتریکی و هیبریدی، رباتیک، وسایل پرنده سبک، ارتقای شبکه برق‌رسانی، ادوات پزشکی، وسایل نظامی، هوافضا و بسیاری موارد دیگر بی‌بدیل است. با این حال فناوری‌های موجود در بسیاری از موارد جوابگوی نیازهای روزافزون این صنایع نبوده و تلاش‌ها برای بهبود فناوری‌های موجود و یا معرفی فناوری‌های جدید در سطح گسترده‌ای در حال پیگیری است.

یکی از فناوری‌های نویدبخش در زمینه ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی، ابرخازن‌ها هستند که با ویژگی‌های خاصی که دارند توجهات بسیاری را به خود جلب کرده‌اند. در این گزارش ضمن معرفی مختصری از اصول کارکرد ابرخازن‌ها، مقایسه‌ای بین مشخصات اصلی ابرخازن‌ها با باتری‌های لیتیوم-یون صورت گرفته است. در ادامه مواردی از کاربردهای این ابزارها در صنایع مختلف از جمله حمل‌ونقل بیان شده و برخی از پیشرفت‌های نویدبخش در این حوزه معرفی گردیده است. در نهایت سعی شده تا با توجه به نقاط ضعف و قوت این فناوری و همچنین در نظر گرفتن نظر برخی صاحب‌نظران در این حوزه، دورنمایی کلی از آینده این فناوری ترسیم شود.

اصول کارکرد:

ابرخازن‌ها نمونه‌های توسعه‌یافته‌تر خازن‌ها هستند که با به‌کارگیری یکی مکانیزم‌های زیر می‌توانند انرژی بیشتری نسبت به خازن‌ها ذخیره کنند:

الف) **Electric Double Layer Capacitance (EDLC):** در این مکانیزم که به اختصار EDLC خوانده می‌شود بجای دی‌الکتریک جامد، الکترولیت مایع قرار دارد و یون‌های محلول در الکترولیت می‌توانند تا حدی به الکتروود با بار مخالفشان نزدیک شوند که تنها یک مولکول حلال بین آن‌ها فاصله باشد. در واقع ملکول‌های حلال بدلیل ماهیت قطبی خود روی سطح الکتروودها را پوشانده و اجازه برخورد یون‌ها با الکتروودها را نمی‌دهند. این فاصله اندک بین یون‌ها و الکتروود با بار مخالف، سبب ایجاد نیروی جاذبه‌ای قوی بین این دو شده و افزایش قابل‌ملاحظه ظرفیت ابرخازن در مقایسه با خازن را سبب می‌شود. در این مکانیزم انرژی به‌صورت الکترواستاتیکی ذخیره می‌شود و هر چه سطح الکتروودها بیشتر باشد ظرفیت ابرخازن افزایش می‌یابد. بیشتر ابرخازن‌های موجود در بازار تنها از این مکانیزم استفاده می‌کنند.



شکل ۱: ساختار مکانیزم EDLC در ابرخازن

ب) **Pseudocapacitance:** در این مکانیزم یون‌های موجود در محلول در سطح الکتروود با بار مخالف جذب شده و الکترون دریافت می‌کنند و خنثی می‌شوند (تبادل بار صورت می‌گیرد). در این حالت انرژی به‌صورت الکتروشیمیایی ذخیره می‌شود اما معمولاً سرعت واکنش نسبت به واکنش‌های الکتروشیمیایی رخ داده در باتری‌ها بیشتر بوده و بنابراین سرعت شارژ و دشارژ نیز بیشتر است.

ج) مکانیزم هیبریدی: در این روش، هم‌زمان از دو مکانیزم فوق برای افزایش ظرفیت ابرخازن استفاده می‌شود تا چگالی انرژی بیشتری حاصل گردد.

مقایسه با باتری‌ها:

در جدول زیر ویژگی‌های مختلف ابرخازن‌ها در مقایسه با باتری‌های لیتیوم-یون بطور تقریبی نشان داده شده است.

باتری‌های لیتیوم-یون	ابرخازن‌ها	
۳۰۰ تا ۳۰۰۰	۳۰۰۰ تا ۴۰،۰۰۰	چگالی توان تخلیه (W/kg)
۱۰ تا ۶۰ دقیقه	۱ تا ۱۰ ثانیه	مدت زمان شارژ هر سلول
۱۰۰ تا ۲۶۵	۴ تا ۱۰	چگالی انرژی جرمی (Wh/kg)
۲۲۰ تا ۴۰۰	۴ تا ۱۴	چگالی انرژی حجمی (Wh/lit)
۵۰۰ تا ۲۰۰۰	۱۰۰ هزار تا ۲۰ میلیون	عمر چرخه‌ای (Cycle Life)
۵ تا ۱۰ سال	۱۰ تا ۱۵ سال	طول عمر (Shelf Life)
۳/۶	۲/۷ تا ۳	ولتاژ سلول (V)
۰ تا ۶۰	۴۰- تا ۶۵	دمای شارژ (°C)
۲۰- تا ۶۰	۴۰- تا ۶۵	دمای تخلیه (°C)
۲۰۰ تا ۱۰۰۰	۱۰،۰۰۰	قیمت (\$/kWh)

با نگاهی به جدول فوق مشخص می‌شود ابرخازن‌ها در همه ویژگی‌ها از باتری‌ها برتر هستند به جز در قیمت و چگالی انرژی که در آن‌ها باتری‌های لیتیوم-یون با اختلاف زیادی بهترند. همین برتر بودن در این دو ویژگی است که باعث شده دامنه کاربرد باتری‌های لیتیوم-یون نسبت به ابرخازن‌ها بسیار گسترده‌تر باشد چراکه این دو ویژگی در بسیاری از کاربردها مهم‌ترین شاخصه‌ها محسوب می‌شوند.

کاربردها:

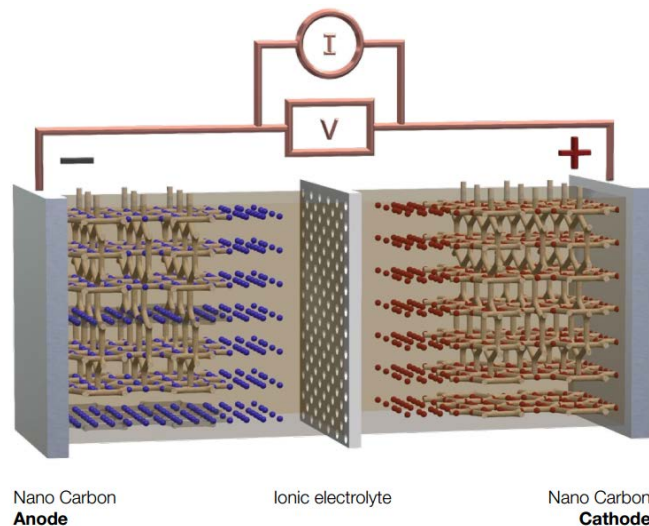
ویژگی های خاص ابرخازن ها سبب شده تا از آن ها در کاربردهایی که نیاز به توان شارژ یا تخلیه بالا دارند، استفاده شود مثل ماهواره ها، دوربین های عکاسی (برای تأمین برق فلش)، سلول های خورشیدی (برای پایدارسازی توان)، دستگاه های شوک قلبی، راه انداز موتور تانک ها و زیردریایی ها، توربین های بادی (برای تنظیم زاویه پره ها) و غیره. همچنین ابرخازن ها به تدریج در حال نفوذ به بازار حمل و نقل نیز هستند. به طور مثال ابرخازن ها در اتوبوس های هیبریدی (برای شارژ شدن در هنگام ترمز گیری و خالی شدن در هنگام شتاب گیری) و برخی خودروهای سواری هیبریدی کاربرد پیدا کرده اند چراکه در این نوع کاربرد توان مورد نیاز شارژ و تخلیه بالا بوده و تعداد دفعات شارژ و دشارژ نیز بالاست (ده ها بار در روز) لذا نیاز به وسیله ای با چگالی توان و عمر چرخه ای بالا می باشد.

همچنین در برخی خطوط اتوبوس رانی در اروپا و چین از اتوبوس های برقی ابرخازنی استفاده شده است به این صورت که در انتهای خط اتوبوس رانی و یا در برخی ایستگاه ها، امکان شارژ اتوبوس طی تنها چند دقیقه فراهم است. به تازگی خبرهایی مبنی بر خرید چند دستگاه از این نوع اتوبوس ها توسط شهرداری تبریز نیز شنیده می شود. این اتوبوس ها که ساخت شرکت چینی Higer هستند دارای برد ۱۵ کیلومتر بوده و طی ۸ دقیقه شارژ می شوند و گفته می شود قیمت هر دستگاه ۵۰۰ هزار دلار است.

در مورد وسایل نقلیه سبک برقی، ابرخازن ها به دلیل ضعف در چگالی انرژی و بالا بودن قیمت نسبت به باتری ها، هنوز نتوانسته اند به طور جدی سهمی از بازار را به خود اختصاص دهند اما پیش بینی می شود در آینده ابرخازن ها به عنوان پشتیبان در کنار باتری ها قرار گیرند و نوعی سیستم ترکیبی باتری-ابرخازن تشکیل دهند. این نوع سیستم ها در هنگام شتاب گیری و ترمز گیری که توان بالایی مورد نیاز است و امکان آسیب دیدن باتری وجود دارد، می توانند از آسیب دیدگی باتری جلوگیری نمایند. همچنین کارایی دمایی این نوع سیستم ها نیز بهتر است.

آینده:

تحقیقات زیادی برای بهبود ویژگی‌های ابرخازن‌ها در جریان است و نتایج اولیه نویدبخشی نیز به دست آمده است. به تازگی شرکت نوپای انگلیسی Zap&Go ادعا کرده که توانسته با بکار بردن نوعی ساختار گرافیت مانند سه بعدی، چگالی انرژی ابرخازن را به بازه ۳۲ تا ۵۶ وات ساعت بر کیلوگرم برساند که تقریباً برابر با چگالی انرژی باتری‌های سربی-اسیدی است.



شکل ۲: ساختار ابرخازن‌های شرکت Zap&Go

همچنین شرکت اکرایی Yunasko ادعا کرده که در حال تجاری‌سازی نوعی ابرخازن است که دارای چگالی انرژی ۳۵ تا ۴۰ وات ساعت بر کیلوگرم می‌باشد و شرکت Nippon نیز ادعا کرده که در آینده نزدیک ابرخازنی با چگالی انرژی ۶۰ وات ساعت بر کیلوگرم را روانه بازار خواهد کرد که با چگالی انرژی باتری‌های نیکل-کادمیوم برابری می‌کند.

وسایل نقلیه هیبریدی و برقی بازار بزرگی را پیش روی فناوری ابرخازن باز کرده‌اند بطوریکه پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ حدود ۴۰ درصد از بازار ابرخازن‌ها در حوزه حمل و نقل باشد؛ با این حال به نظر نمی‌رسد ابرخازن‌ها به دلیل ضعف شدید در چگالی انرژی و قیمت، در آینده نزدیک بتوانند در این وسایل نقلیه به طور کامل جایگزین باتری‌ها شوند و احتمالاً باتری‌ها تا مدت‌ها منبع اصلی انرژی در وسایل نقلیه برقی خواهند بود. با این حال گسترش سیستم‌های ترکیبی باتری-ابرخازن در آینده نزدیک بسیار محتمل

است. در این سیستم‌ها سعی می‌شود از قابلیت‌ها و مزایای باتری و ابرخازن به‌طور هم‌زمان استفاده شود. از همین روست که مدیر ارشد فناوری (CTO) شرکت Maxwell که یکی از پیشروترین شرکت‌ها در زمینه تولید ابرخازن در دنیا می‌باشد و در سال ۲۰۱۴ حدود ۲۵ درصد از بازار جهانی را در اختیار داشته، این چنین می‌گوید:

«ابرخازن‌ها در واقع طراحی نشده‌اند تا ابزارهای انرژی باشند، این استفاده غیر بهینه از توانمندی‌های آنهاست، بلکه طراحی شده‌اند تا ابزارهای توان باشند ... دیدگاه ما در Maxwell این است که بگذار هر جا که ابرخازن‌ها می‌توانند خودنمایی کنند و هر جا که باتری‌ها می‌توانند خودنمایی کنند و هر دو آنها را در کنار هم قرار بده تا بهترین سیستم ممکن به دست آید.»

شرکت Skeleton Technologies نیز شرکتی تازه تأسیس و رو به رشد در حوزه ابرخازن است و توانسته به‌تازگی ابرخازن‌هایی را به بازار معرفی کند که چگالی انرژی آنها دو برابر و چگالی توان آنها تا چهار برابر محصولات رقیب می‌رسد. مدیر ارشد عملیات (COO) این شرکت نیز این چنین می‌گوید:

«ابرخازن‌ها هیچ‌گاه به‌طور کامل جایگزین باتری‌ها نخواهند شد، اما افزایش چگالی انرژی کمک خواهد کرد تا بتوان از آنها در موارد متعدد دیگری نیز استفاده کرد، همانند خودروهای هیبریدی.»

طبق گزارش موسسه Idtechex بازار ابرخازن‌ها در سال ۲۰۱۶ حدود ۲۴۰ میلیون دلار تخمین زده می‌شود و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۶ این بازار به بیش از ۲ میلیارد دلار افزایش پیدا کند. البته برای ابرخازن‌ها رقبای جدی دیگری نیز وجود دارد که شاید بتوان مهم‌ترین آنها را باتری‌های لیتیوم-تیتانیومی (LTO) دانست. این باتری‌ها دارای عمر، کارایی دمایی، ایمنی و چگالی توان مشابه با ابرخازن‌ها هستند و ضمناً چگالی انرژی آنها به بیش از ۱۰۰ وات‌ساعت بر کیلوگرم می‌رسد. شرکت ژاپنی Toshiba از پیش‌تازان این فناوری می‌باشد و به‌تدریج در حال وارد کردن محصولات خود با برند SCiB به بازار است. باید دید با گذشت زمان کدامیک از فناوری‌های ذخیره‌سازی توان بالای انرژی بر سایرین غلبه پیدا خواهد کرد.