

استفاده از مصالح مجهز به باتری های ابرخازنی بجای باتری های لیتیوم-یون به عنوان سیستم ذخیره سازی انرژی در ساختمان ها

روزبه ترکی شریف آبادی^۱

چکیده

با نگاهی به افزایش روز افزون بهای انرژی و همچنین توجه خاص به مسائل زیست محیطی ، ابرخازن ها (Supercapacitors) گزینه نوینی برای ذخیره سازی انرژی اند. ابرخازن ها برتری های بیشماری نسبت به باتری های قابل شارژ لیتیوم-یون دارند ، که می توان به راندمان و سرعت بالای شارژ و دشارژ ، عمر طولانی ، ظرفیت خازنی زیاد و سازگاری با محیط زیست اشاره کرد. باتری های ابرخازنی می توانند گزینه نوینی برای ذخیره انرژی تولیدی از پنل های خورشیدی باشند. این نوع باتری ها به دلیل عدم نیاز به سرویس و نگهداری و کارکرد مناسب در انواع شرایط محیطی ، برای استفاده در ساختمان ها مناسب می باشند. در این مقاله در مورد ایده ساخت مصالح ساختمانی ، که باتری های ابر خازنی از قبل در آنها جاسازی شده باشند ، بحث می شود. همچنین کاربردهای مختلف استفاده از این نوع باتری ها در ساختمان ها مورد بررسی قرار می گیرند.

واژه های کلیدی: ابرخازن - ذخیره انرژی - نانوتیوب - گرافن - باتری لیتیوم یون

۱- مقدمه :

با رشد جوامع بشری ، درخواست و مصرف انرژی نیز افزایش می یابد. با توجه به محدود بودن منابع انرژی ، صرفه جویی در مصرف آن مورد تاکید قرار گرفته و استفاده از انرژی های تجدید پذیر رواج یافته است. پر کاربردترین انرژی های تجدید پذیر ، انرژی خورشیدی (فوتولتاییک یا حرارتی) و انرژی بادی می باشند. اما مهم ترین چالش استفاده از چنین انرژی هایی ، مساله ذخیره آنها به منظور استفاده در زمان مورد نیاز است. هرچه بتوان انرژی بیشتری را در زمان کمتری ذخیره کرد ، کارایی سیستم ذخیره سازی بیشتر است. همانطور که در بالا هم ذکر شد ، مسائل عدم آلودگی محیط زیست و حداقل نگهداری و سرویس نیز باید مورد توجه قرار گیرند.

در قسمت اول این پژوهش از بین سیستم های ذخیره انرژی ، باتری ها بررسی شده اند و در بخش دوم درباره تکنولوژی ابرخازن ها بحث خواهد شد و بخش آخر به ایده اصلی پژوهشگر اختصاص یافته است.

۲- سیستم های ذخیره انرژی :

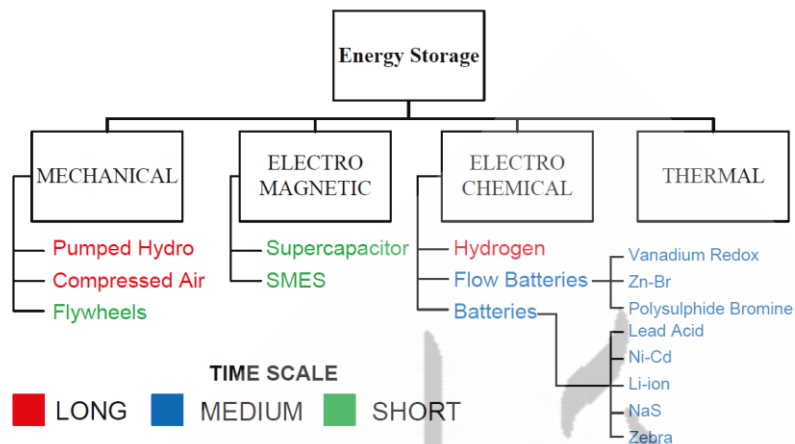
روش ذخیره انرژی ارتباط مستقیم با مقدار انرژی مورد نیاز و همچنین کاربرد آن دارد. به طور سنتی خازن ها برای ذخیره کوتاه مدت انرژی (میکرو ثانیه - میلی ثانیه) و فیلتراسیون مورد استفاده قرار می گیرند و باتری های سنتی برای ذخیره متوسط انرژی (دقیقه - ساعت) استفاده می شوند. [1] برای تولید و ذخیره انرژی در مقیاس های بزرگتر ، سیستم های هوای فشرده (CAES¹) ، سیستم ذخیره انرژی فلاپیویل (FESS²) و سیستم ابرسانا مغناطیسی ذخیره انرژی (SMES³) مورد استفاده قرار می گیرد. [2]

سیستم های ذخیره انرژی مطرح در مقیاس های مختلف در عکس شماره یک نشان داده شده است. [10]

¹ Compressed Air Energy Storage

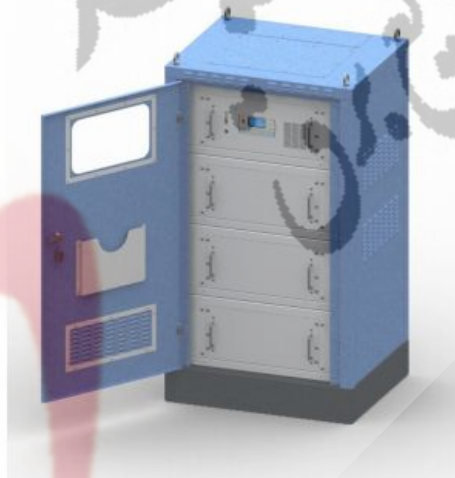
² Flywheel Energy Storage System

³ Superconducting Magnetic Storage System



عکس شماره یک - سیستم های ذخیره انرژی مطرح

باتری ها به عنوان منابع ذخیره انرژی در هر جایی می توانند قرار گیرند و به راحتی راه اندازی و استفاده شوند. باتری ها می توانند در مقیاس کوچک مثل باتری لپ تاپ ، موبایل و غیره بوده و یا به عنوان سیستم ذخیره انرژی (BESS⁴) بزرگ در یک اتاق در نزدیکی محل مصرف قرار گیرند. (عکس شماره دو) [4]



عکس شماره دو - سلول باتری های UPS

⁴ Battery Energy Storage System

۲-۱- باتری ها :

سیستم های ذخیره انرژی با استفاده از باتری از یک ماده تغییر فاز (PCM⁵) استفاده می کنند تا بتوانند انرژی DC باتری را از طریق یک کانورتر به AC تبدیل کنند. [6] این پروسه نیاز به تجهیزات خاص و گران قیمت دارد. در ضمن اینکه دمای باتری در هنگام شارژ و دشارژ باید ثابت باشد تا عمر متوسط باتری حفظ شود. با توجه به مورد مصرف ، BESS باید به دفعات شارژ و دشارژ شود. هرچه باتری به سطح پایین تری تخلیه شود ، عمر آن کاهش می یابد. بطور مثال عمر یک باتری نیکل-کادمیوم در حالتی که تا ۱۵٪ آن دشارژ شود ، حداکثر ۲۰،۰۰۰ بار (سیکل شارژ و دشارژ) می باشد. [1] یکی از بزرگترین BESS های موجود در حال حاضر در چین/کالیفرنیا (Chino-California) با قدرت ۱۰ مگاوات (40 MWh) می باشد. [5]

باتری ها بطور کلی به سه دسته باتری های اسیدی (Lead Acid) ، باتری های نیکل کادمیوم (Nickel-Cadmium) و باتری های لیتیوم یون (Lithium Ion) تقسیم می شوند. باتری های اسیدی بیشترین استفاده را در تمام دنیا دارند. عمر این باتری ها از ۶ تا ۱۵ سال است و قابلیت حداکثر ۱۵۰۰ سیکل شارژ و دشارژ را دارند ، البته به شرطی که پایین تر از سطح ۸۰٪ تخلیه نشوند. باتری های نیکل کادمیوم نسبت به باتری های اسیدی دارای توان و چگالی انرژی بیشتر می باشند و می توانند به دفعات بیشتری ، شارژ و دشارژ شوند. این باتری ها در دماهای پایین نیز می توانند کار کنند. از سال ۲۰۰۰ به بعد ، باتری های لیتیوم یون بسیار محبوب شده و به مهم ترین روش ذخیره انرژی تبدیل شدند. چگالی بار الکتریکی ذخیره شده در آنها از دیگر انواع باتری ها بیشتر است. به عنوان مثال یک باتری لیتیوم یون ۱/۲ ولت ، سه برابر بیشتر از یک باتری نیکل کادمیوم معادل انرژی ذخیره می کند. [7]

از معایب کلی باتری ها می توان به موارد زیر اشاره کرد: [1] و [8]

- نیاز به سرویس و نگهداری
- محتوای سمی و مضر و ناسازگار با طبیعت
- تاثیر زیاد دمای محیط بر کارکرد آنها و همچنین تعداد پایین سیکل های شارژ و دشارژ
- محدودیت جریان
- اندازه های بزرگ
- مشکلات تولید در سایزهای بسیار کوچک
- تخلیه شدن بصورت خود به خودی
- پیچیدگی روش های شارژ

با در نظر گرفتن روش های مختلف شارژ باتری (CC-CV⁶ ، محاسبه بهترین فرکانس شارژ ، Fuzzy-control-based) ، روش فازی (شارژ باتری بر اساس جریان ، ولتاژ و دمای باتری در هر لحظه و تغییر مدل شارژ) بهترین مدل برای شارژ باتری می باشد. در این روش ، دمای باتری هنگام شارژ بسیار کم افزایش می یابد که راندمان باتری را بالا برده ، زمان شارژ را کاهش داده و عمر باتری را طولانی تر می کند. [9]

⁵ Phase Change Material

⁶ Constant Current – Constant Voltage

۳- ابرخازن ها :

ابرخازن ها گروهی از خازن ها هستند که بیشترین ظرفیت ذخیره سازی را دارند. ساختار کلی این نوع خازن شبیه به خازن های موجود در بازار است ولی جنس الکترودها ، الکترولیت و فواصل آنها متفاوت می باشند. خازن های معمولی از دو الکترودها رسانا تشکیل شده اند که این دو الکترودها توسط یک عایق از هم جدا شده اند. زمانی که خازن به یک منبع تغذیه متصل می شود ، باعث ایجاد تراکم بار الکتریکی روی دو الکترودها می شود. به دلیل وجود عایق بین دو الکترودها ، شارژ الکتریکی باقی مانده و باعث وجود آمدن میدان الکتریکی بین دو الکترودها می شود. به این ترتیب خازن انرژی را در خود ذخیره می کند. [11] مقدار انرژی قابل ذخیره در خازن ، با مساحت صفحات الکترودها رابطه مستقیم و با فاصله آنها از هم رابطه عکس دارد:

(1)

\square_0 ضریب ثابت عایقی فضای خالی بین صفحات و \square_r ضریب ثابت عایق بین دو الکترودها است. انرژی ذخیره شده در خازن نیز رابطه مستقیم با ظرفیت آن خازن دارد:

(2)

بنابراین می توان نتیجه گیری کرد که هرچه مساحت الکترودها بیشتر و فاصله بین آنها کمتر و ضریب عایقی استفاده شده بیشتر باشد ، انرژی ذخیره شده در خازن بیشتر خواهد بود. حداکثر ولتاژ اعمال شده به خازن باید محاسبه شود ، زیرا ولتاژ بیشتر از حد توان خازن باعث تخریب الکترولیت ، ذوب شدن عایق و حتی الکترودها می شود که به این ولتاژ ، ولتاژ شکست (Break Down Voltage) می گویند. ولتاژ شکست یک عایق ولتاژی است که آن عایق رسانای الکتریکی شده و جریان الکتریکی را عبور می دهد. (توان عایقی E_{ds}) [12] در نتیجه همیشه ماکسیمم انرژی قابل ذخیره در یک خازن ، محدود به ولتاژ شکست آن می باشد. بطور عمومی ، توان برابراست با انرژی مصرف شده در هر واحد زمان. برای محاسبه توان یک خازن (با توجه به ESR^Y) از رابطه زیر کمک می گیریم: [13] ، [14]

(3)

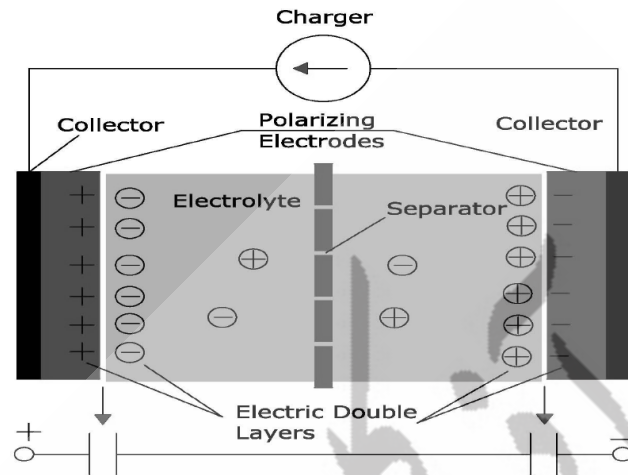
در نتیجه براساس این رابطه می توان فهمید که ، حداکثر توان یک خازن محدود به ESR است.

خازن ها در مقایسه با باتری ها ، انرژی کمتری ذخیره می کنند ولی به سرعت می توان آن را تخلیه کرد و به دلیل ESR کمتر آن ها ، توانایی دریافت شدت جریان بیشتری را نیز دارند.

ابرخازن ها نیز طبق اصول و قواعد خازن های معمولی کار می کنند. تفاوت اصلی ابرخازن ها با خازن های معمولی ، در استفاده از الکترودهای با مساحت بیشتر ، عایق های با ضخامت و فاصله کمتر بین الکترودها می باشد. با توجه به روابط شماره یک و دو ، می توان به ظرفیت خازنی بیشتر و در نتیجه به قابلیت ذخیره انرژی بیشتر دست یافت.

⁷ Equivalent Series Resistance

ساختار یک ابرخازن در شکل زیر (عکس شماره سه) نشان داده شده است:



عکس شماره سه - ساختار ابرخازن

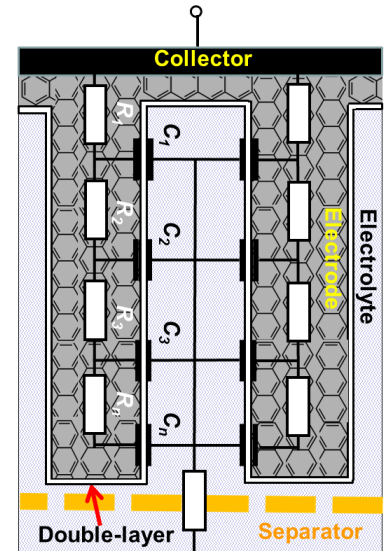
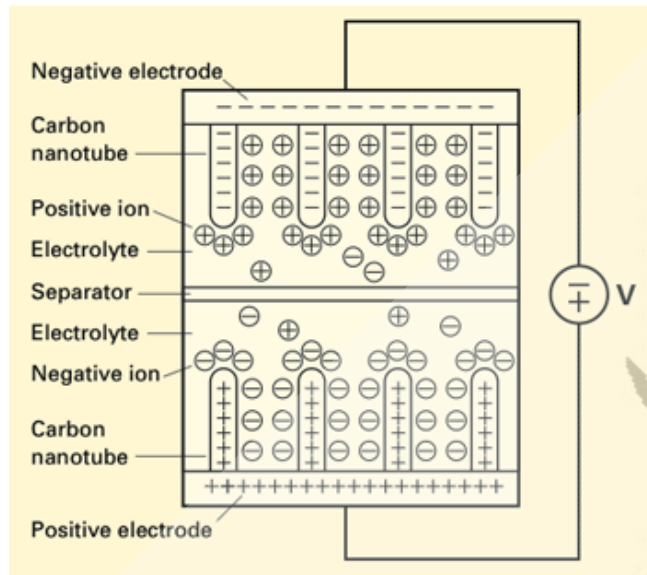
به ابرخازن ها ، خازن های دو لایه (EDLC⁸) نیز می گویند. همانطوری که در شکل بالا مشاهده می شود ، وجود عایق با ضریب عایقی زیاد باعث می شود که بار الکتریکی یک طرف عایق نتواند به سمت دیگر حرکت کند. در نتیجه شبیه دو خازن کاملاً مجزا و سری عمل می کند. ابرخازن ها بر اساس تکنولوژی نانو تیوب (Nanotube) کار می کنند. برای درک بیشتر این تکنولوژی باید ویژگی های گرافن⁹ (Graphene) را بررسی کرد. گرافن یک ماده تک لایه ای از اتم های کربن است که در شبکه ای شش ضلعی به هم متصل شده اند. از ویژگی های برجسته گرافن مقاومت بالا در برابر شکست (۱۲۵ گیگاپاسکال) ، تحرک پذیری بالای حامل های بار یا به عبارت دیگر رسانایی الکتریکی بالا ($200,000 \text{ Vs/cm}^2$) و مساحت سطحی ویژه بالا (مقدار محاسبه شده: ۲۶۳۰ متر مربع بر گرم) می باشند. [15] گرافن گزینه مناسبی برای کاربردهای مختلفی همچون مواد ذخیره کننده انرژی به شمار می رود. این ماده تحرک پذیری الکترونی بسیار بالا در دمای اتاق دارد ، در نتیجه ماده بسیار مناسبی برای ابرخازن ها می باشد. کربن نانوتیوب ها در واقع صفحه های گرافن لوله شده هستند و با توجه به ساختار آنها ، می توانند خاصیت نیمه رسانایی و یا فلزی داشته باشند. [16] برای استفاده از کربن تیوب ها ، آنها را در اسید نیتریک عمل آوری¹⁰ می کنند. کربن تیوب عمل آوری شده ، زمانی که در اسید سولفوریک ۳۸ درصد (به عنوان الکترولیت) قرار بگیرد ، دارای سطح ویژه $430 \text{ m}^2/\text{g}$ ، ظرفیت خازنی Gravimetric ۱۰۲ فاراد بر گرم و چگالی انرژی 0.5 W.h/kg می باشد. به این ترتیب می توان فهمید که ابرخازن هایی با الکتروود کربن نانو تیوب از چه کارایی بالایی برخوردار هستند. [17]

⁸ Electric Double Layer Capacitor

⁹ دریافت جایزه نوبل فیزیک در سال ۲۰۱۰ توسط Andre Geim و Konstantin Novoselov از دانشگاه منچستر برای بدست آوردن گرافن

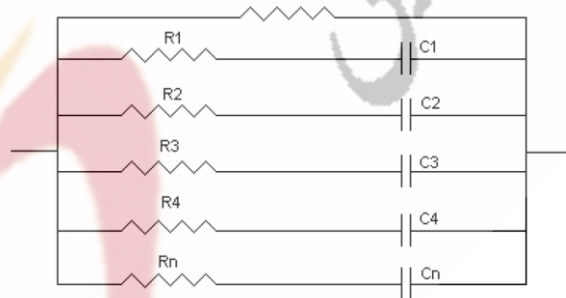
¹⁰ Functionalized

همانطوری که در شکل شماره چهار بصورت اغراق آمیز نمایش داده شده ، سطح کربن های فعال بسیار بزرگ (هزاران متر مربع بر گرم) بوده و به دلیل ناهموار بودن سطح ، توانایی جذب مقدار زیادی یون را دارند.



شکل شماره چهار [18] - شکل سطح کربن های فعال

بر اساس شکل شماره چهار ، یک ابر خازن شبیه به مدارات RC^{11} ای است که بصورت سری بهم متصل شده اند. مقاومت های R همان ESR بوده و خازن های C ظرفیت خازنی الکترواستاتیک کربن های فعال هستند. (شکل شماره پنج)



شکل شماره پنج - شبیه سازی مدار داخل ابرخازن به مدارات RC

¹¹ Resistor-Capacitor

زمان شارژ ابرخازن بستگی به مقدار CxR در هر مدار RC دارد. واضح است که هرچه مقدار CxR بیشتر باشد، زمان بیشتری نیز برای شارژ خازن احتیاج است. جریان مورد نیاز برای شارژ خازن از رابطه چهار بدست می آید: [19]

$$I_n = (V/R_n) \exp (-t/(C_n * R_n)) \quad (4)$$

از الکترولیت های مناسب برای ابر خازن ها، می توان به Sodium Perchlorate (NaClO_4) و Lithium Perchlorate (LiClO_4) اشاره کرد. این الکترولیت ها در بازه دمایی منفی ۹۰ درجه سانتیگراد تا مثبت ۴۰۰ درجه سانتیگراد خصوصیات خود را از دست نمی دهند.

همانطور که قبلا هم اشاره شد، هرچه عایق موجود در خازن ها نازک تر و خاصیت عایقی آن بیشتر باید، ظرفیت خازن بیشتر می شود. بطور مثال ثابت دی الکتریک (K) شیشه بین ۶ تا ۱۰، میکا بین ۵/۶ تا ۶/۶، هوا تقریبا یک، الکل ۲۵ و آب بین ۸۰ تا ۸۳ می باشد. ماده ای به نام Polyacrylonitrile ($\text{C}_3\text{H}_3\text{N}$)_n که به Creslan 61 نیز معروف می باشد، یک رزین پلیمری با دمای ذوب ۳۰۰ درجه سانتیگراد است. ثابت دی الکتریک این ماده ۵/۵ و ضخامت آن بین ۰/۳ تا ۰/۸ نانومیلیمتر می باشد. [20] از این ماده می توان در ابرخازن ها به عنوان عایق استفاده کرد.

ولتاژ کاری ابرخازن های استاندارد بین ۲/۱ تا ۲/۷ ولت است. برای بدست آوردن ولتاژ بیشتر باید خازن ها را بصورت سری بهم متصل کرد. از آنجایی که ولتاژ و ESR خازن های مختلف در حد خیلی جزئی باهم فرق می کنند، بعد از اتصال آنها بهم، باید ولتاژ ورودی اعمال شده و همچنین ولتاژ خروجی را تثبیت کرد.

به عنوان نتیجه گیری از این بخش می توان گفت، با اینکه تا به امروز تکنولوژی ابرخازن ها به حدی نرسیده که بتوانند جایگزین کاملی برای باتری ها باشند، ولی طول عمر زیاد آنها، عدم نیاز به نگهداری، حجم کم، قابلیت فرم دهی، سرعت زیاد شارژ و دشارژ و ظرفیت خازنی بالای آنها باعث شده که بتوانند انتخاب مناسبی برای ذخیره انرژی در مقیاس های مختلف باشند.

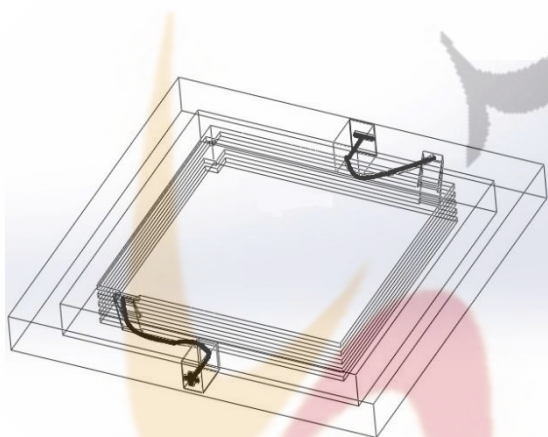
۴- ایده :

محدودیت منابع انرژی و افزایش قیمت آن از یک طرف و از طرف دیگر ایده استفاده از انرژی های تجدید پذیر و سیستم های ذخیره انرژی در ساختمانها به یکی از موضوعات اصلی توسعه شهرها تبدیل شده است. تکنولوژی های جدید در ساخت و ساز ساختمان ها، به طور چشم گیری مصرف انرژی را کاهش داده است. استفاده از مصالح جدید برای جلوگیری از اتلاف انرژی (مانند اسکلت و دیوار و در و پنجره های چند جداره) و همچنین راه اندازی سیستم های سولار و باد و غیره، همگی اشاره به این امر دارند که صرفه جویی در مصرف انرژی های فسیلی از حالت تبلیغاتی درآمده و به یکی از استانداردهای زندگی شهری تبدیل شده است. یکی از مهم ترین مسائل مورد بحث در خصوص انرژی های تجدید پذیر، چگونگی ذخیره آنها برای استفاده در هنگام نیاز است. [21]

متداول ترین روش ذخیره ، استفاده از باتری است. همانطور که قبلا هم اشاره شد ، استفاده از باتری در ساختمان ها مشکلات زیادی دارد. از جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نیاز به فضای زیاد برای نصب و راه اندازی مجموعه های باتری
- نیاز به سیستم های تهویه مناسب برای نگهداری باتری ها
- نیاز به سرویس و نگهداری
- عمر کوتاه و تعداد دفعات محدود شارژ و دشارژ باتری ها
- نیاز به استفاده از سیستم های پیچیده شارژ و زمان زیاد مورد نیاز برای شارژ کامل باتری ها
- دریافت محدود جریان الکتریکی

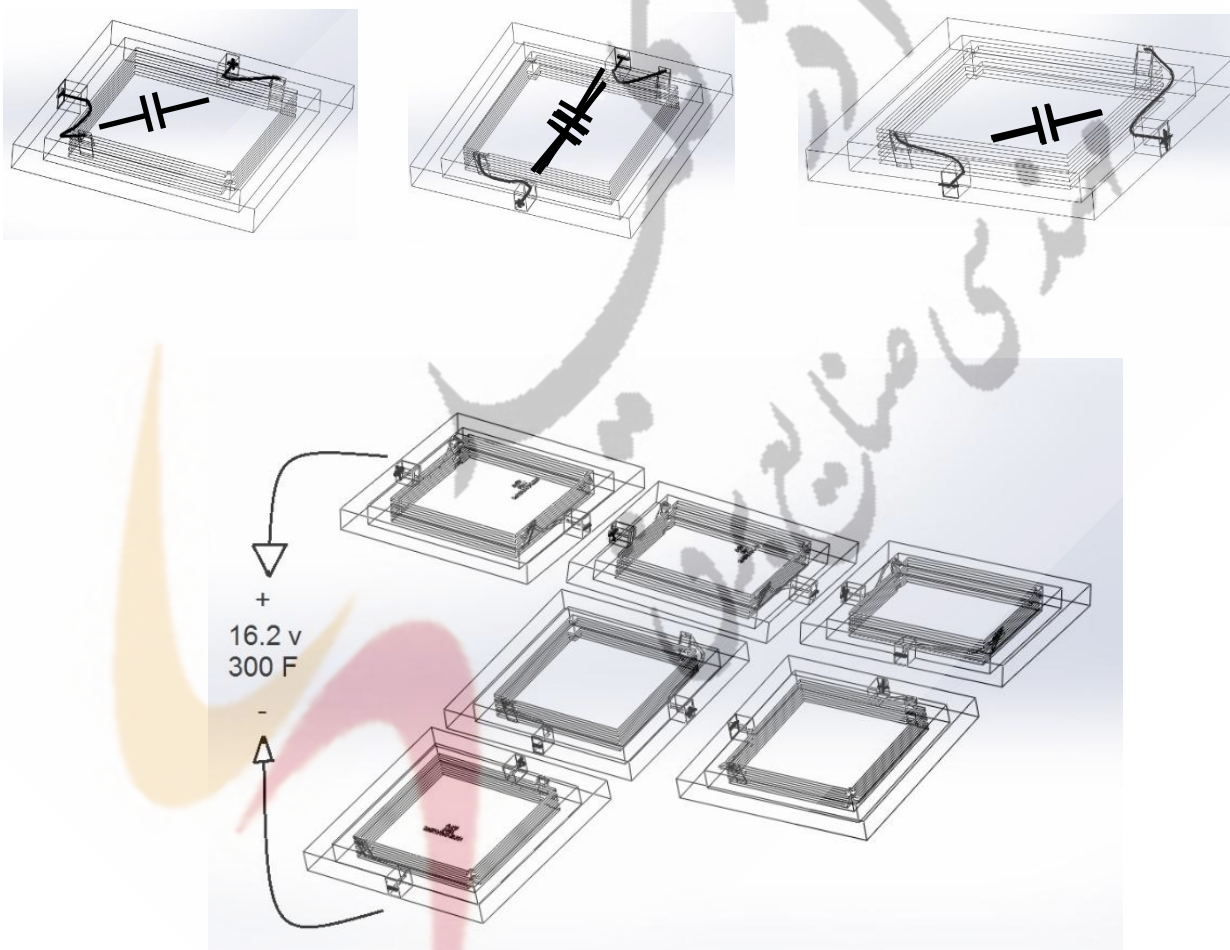
یکی از راه حل های موجود ، جایگزین کردن باتری های معمولی با باتری های ابرخازنی است. در بخش قبل به تفضیل راجع به مزایای ابرخازن ها و ویژگی های آنها نسبت به باتری ها بحث شد. ایده اصلی این پژوهش استفاده از پکیج های ابرخازن در ساختمان های موجود و همچنین استفاده از مصالح ساختمانی جدید (که از پیش ، ابرخازن ها در آنها جاسازی شده اند^{۱۲}) برای ساخت و سازهای جدید می باشد. به علت ضخامت بسیار کم ابرخازن های تک لایه ای و همچنین قابلیت فرم دهی و انعطاف پذیری آنها و از همه مهم تر عدم نیاز به سرویس و نگهداری ، می توان دیوارهای پیش ساخته و یا موزائیک (سرامیک) هایی تولید نمود که تعداد زیادی از صفحات ابرخازنی در آنها جاسازی شده باشند. شکل شماره شش برش سطحی از ساخت یک سرامیک (سنگ کف) ابرخازنی است.



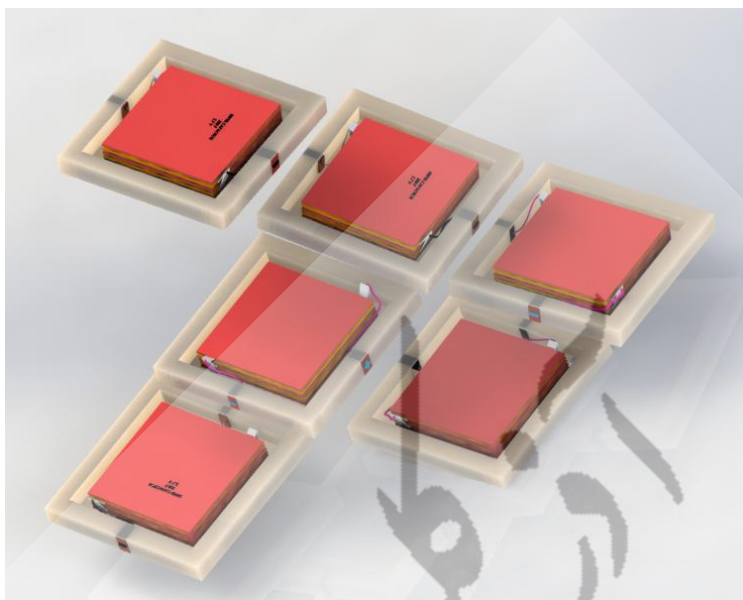
شکل شماره شش - برش سطحی یک سرامیک (سنگ کف) مجهز به ابرخازن

¹² Embedded

تعداد صفحات زیادی ابرخازن در هنگام تولید درون این موزائیک (سرامیک) جاگذاری شده است، در نتیجه با توجه به ظرفیت خازن جاسازی شده و ولتاژ آن، می توان موزائیک های متفاوت با ظرفیت های متفاوت تولید کرد. موزائیک ها به نحوی در کنار هم قرار می گیرند که یک مدار سری را تشکیل دهند تا ولتاژ بالاتری بدست آید. برای چیدمان و نصب موزائیک ها در کنار هم از ایده ساده لوله و زانویی استفاده شده است. در کل فقط سه حالت مختلف از موزائیک مورد نیاز است، تا بتوان تمام حالت های احتمالی قرار گرفتن موزائیک ها را پوشش داد. در شکل شماره هفت و هشت این سه نوع از موزائیک و همچنین یک نمونه از چیدمان آنها نشان داده شده است.



شکل شماره هفت - سه نوع مورد نیاز ساخت سرامیک - چیدمان آنها کنار هم



شکل شماره هشت - چیدمان موزائیک ها

از مزایای استفاده از چنین موزائیک هایی موارد زیر را می توان برشمرد:

- عدم نیاز به فضای اضافی در داخل ساختمان برای نصب باتری (منظور ابرخازن های داخل موزائیک)
- امکان استفاده از یک موزائیک به تعداد خیلی زیاد
- انعطاف پذیری زیاد در نصب و راه اندازی مجموعه (تعداد موزائیک ها) با توجه به فضای موجود و ذخیره انرژی مورد نیاز

در هنگام ساخت و ساز یک ساختمان و پس از نصب موزائیک ها ، می توان در کنار پریز برق های موجود ، پریز برق جداگانه ای (ECO) نصب کرد که تغذیه آن فقط از ابرخازن ها باشد. به این ترتیب می توان در ساعات اوج مصرف ، بجای استفاده از برق شهر از انرژی ذخیره شده در خازن ها استفاده کرد. این خازن ها بهترین انتخاب برای روشنایی توسط لامپ های کم مصرف¹³ LED هستند. به همین دلیل می توان برای روشنایی داخل ساختمان از این منبع بزرگ ذخیره انرژی استفاده کرد.

از موارد دیگر استفاده می توان به گزینه های زیر اشاره کرد:

- استفاده از این مجموعه ها به عنوان منبع انرژی در هنگام قطع برق (برق اضطراری)
- راه اندازی اولیه تجهیزاتی که برای شروع به کار نیاز به جریان زیاد لحظه ای دارند (مانند موتور یخچال) و کمک به کم کردن هارمونیک های شبکه توزیع برق
- منبع ذخیره انرژی دریافتی از پنل های خورشیدی (در هنگام تابش خورشید با سرعت زیاد کل خازن ها شارژ می شوند)

¹³ Light Emitting diode

۵- نتیجه گیری :

ابرخازن ها روش جایگزین امیدوارکننده ای ، برای حل مساله افزایش نیاز به ذخیره انرژی می باشند. توان و ظرفیت زیاد ، عملکرد خوب در دماهای بالا ، توانایی میلیون ها بار چرخه شارژ و دشارژ و عمر بسیار طولانی تر از باتری ، کارایی روش های ذخیره و استفاده از انرژی را زیاد کرده است. به این ترتیب استفاده از ابرخازن ها ارزش کالای تولید شده را بالا برده و هزینه های زیاد تعویض باتری را برای مصرف کننده کاهش می دهد. این مقوله خود کمک بزرگی به حفظ محیط زیست خواهد کرد.

استفاده از تکنولوژی های جدید در ساخت و ساز ساختمان ها برای ذخیره هرچه بیشتر انرژی به یکی از استانداردهای زندگی شهری تبدیل شده است. استفاده از ابرخازن ها روش مناسبی برای تحقق بخشیدن به این امر می باشد. مجهز کردن مصالح پیش ساخته ساختمانی به سیستم های ذخیره انرژی ابرخازنی و پراکنده کردن باتری های خازنی در ساختمان به روش های ذکر شده ، نیاز به سیم کشی های زیاد از یک منبع اصلی ذخیره انرژی به تمام قسمت های آن ساختمان را کاهش داده و در نتیجه اتلاف انرژی در اثر انتقال نیز کاهش می یابد.

- [1] Edward R.Furlong, Marco Piemontesi, Prasad P, Sukumar De, "Advances in energy storage techniques for critical power systems." Conf. on International Stationary Battery, Atlanta, 2003, Page(s): 1-8.
- [2] S.C. Smith, P.K. Sen, B. Kroposki, "Advancement of energy storage devices and applications in electrical power system", Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE, 20-24 July 2008; Page(s): 1 – 8.
- [3] S. Colel, D. Van Hertem, L. Meeus, and R. Belmans, "The influence of renewables and international trade on investment decisions in the grid of the future", ICREPQ'06 International Conference on Renewable Energies and Power Quality, 8 pages, April 2006
- [4] Magellan Power's DCSS: Australian-made, small-scale energy storage for solar power systems, 10 November 2013
- [5] W.R. Lachs and D. Sutanto, "Applications of Battery Energy Storage in Power Systems", IEEE Catalogue No. 95 TH8025, Page(s): 700-705, 1995.
- [6] Lavinia Gabriela SOCACIU, "Thermal Energy Storage with Phase Change Material", Department of Mechanical Engineering, Technical University of Cluj-Napoca, Romania, June 2012, Page(s): 75-98.
- [7] Edina Milisic, "Modelling of energy storage using phase-change materials (PCM materials)", NTNU Trondheim Norwegian University of Science and Technology, Master Thesis, July 2013, Page(s): 7-9
- [8] Naveen SINGAMSETTI, Sabri TOSUNOGLU, "A Review of Rechargeable Battery Technologies", Department of Mechanical and Materials Engineering, Florida International University, May 2012, Page(s): 1-6
- [9] Houshyar Asadi, S.Hr.Aghay Kaboli , Maysam oladazimi, M.J.Safari , "A Review on Li-Ion Battery Charger Techniques and Optimize Battery Charger Performance by Fuzzy Logic", International Conference on Information and Intelligent Computing, Singapore, 2011, Page(s): 1-8
- [10] M. Świerczyński, R. Teodorescu, C.N. Rasmussen, P. Rodriguez, H. Vikelgaard, "Overview of the energy storage systems for wind power integration enhancement", IEEE Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on, 4-7 July 2010, Page(s): 1-8
- [11] Marin S. Halper, James C. Ellenbogen, "Supercapacitors: A Brief Overview", Mitre, Virginia, March 2006, Page(s): 1-41

[12] Pai, S. T.; Qi Zhang, "Introduction to High Power Pulse Technology". Advanced Series in Electrical and Computer Engineering. 10. World Scientific, ISBN 9789810217143, 1995

[13] Vincenzo Musolino, Enrico Tironi, "A Comparison of Supercapacitor and High-Power Lithium Batteries", IEEE , 2010 , Page(s):1-6

[14] Andrew Chu, Paul Braatz, "Comparison of commercial supercapacitors and high-power lithium-ion batteries for power-assist applications in hybrid electric vehicles: I. Initial characterization", ELSEVIER, Volume 112, Issue 1, Oct. 2002, Page(s): 236-246

[15] نویسندگان: Sungjin Park , Rodnez S. Ruoff ، مترجم: علی عباسی، کارشناس ارشد شیمی، "روش های شیمیایی تولید گرافن"، ماهنامه فناوری نانو، شماره ۵، پیاپی ۱۴۲، سال هشتم، مرداد ۱۳۸۸، صفحات ۲۸-۳۵

[16] Debaprasad Das, Hafizur Rahaman, Jan 2014, "Carbon Nanotube and Graphene Nanoribbon Interconnects", Taylor @ Francis Group LLC. ISBN-13: 978-1482239485

[17] Hui Pan, Jianyi Li, YuanPing Feng, "Carbon Nanotubes for Supercapacitor", US National Library of Medicine, Jan 2010, DOI: 10.1007/s11671-009-9508-2

[18] Nancy W. Stauffer, "A novel ultracapacitor - Energy when and where you need it", MIT Energy Initiative, October 2012

[19] "Supercapacitors", <http://www.illinoiscapacitor.com/pdf/papers/supercapacitors.pdf>

[20] Huina Guo, "STRUCTURE, PROCESSING, AND PROPERTIES OF POLYACRYLONITRILE/CARBON NANOTUBES COMPOSITE FILMS", Phd Thesis, Georgia Institute of Technology, May 2007

[21] Ding Ma, Yi-bing Xue, "Solar Energy and Residential Building Integration Technology and Application", Department of Architecture and Urban Planning. Shandong Jianzhu University, Jinan, China, International Journal of Clean Coal and Energy, May 2013, Page(s): 8-12