بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق– قدرت

استفاده از ذخیره کننده انرژی هیبرید باتری–ابرخازن در منابع تغذیه بدون وقفه

طوفان پرنیان

استاد راهنما:

مصطفی محمدیان

استاد مشاور:

رضا بیرانوند

زمستان ۱۳۹۲

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای طوفان پرنیان پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **بکارگیری ذخیره کننده انرژی هیبرید باتری – ابرخازن در منابع تغذیه بدون وقفه** در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۳ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد قدرت پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر مصطفی محمدیان	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر رضا بیرانوند	استادیار	
استاد ناظر	دکتر علی یزدیان ورجانی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر بهزاد آسایی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر علی یزدیان ورجانی	استادیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

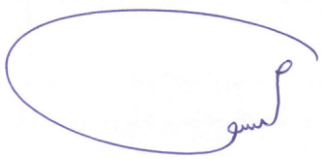
ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱٥ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب طوفان پرنیان دانشجوی رشته برق-قدرت ورودی سال تحصیلی ۱۳۹۰ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده برق و کامپیوتر متعهد می شوم کِلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:

تاریخ: ۹۲/۱۱/۲٦



آیین نامه چاپ پایان‌نامه های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه‌ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته برق- قدرت است که در سال ۱۳۹۲ در دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر مصطفی محمدیان، مشاوره جناب آقای دکتررضا بیرانوند از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

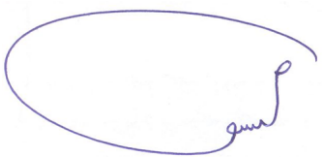
ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب طوفان پرنیان دانشجوی رشته برق- قدرت مقطع کارشناسی ارشد، تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: طوفان پرنیان

تاریخ و امضا: ۹۲/۱۱/۲۶



چکیده

امروزه منابع تغذیه بدون وقفه به عنوان یکی از ادوات کیفیت توان، بطور وسیع و در محدوده توانی گسترده از چندین تا چندصد کیلو وات مورد استفاده قرار می‌گیرند. از طرفی باتری بخش عمده هزینه، حجم و وزن یک منبع تغذیه بدون وقفه را تشکیل می‌دهد. لذا توجه اغلب سازندگان و مصرف کنندگان اینگونه منابع را به خود اختصاص داده است. یکی از راهکارهای قابل ارائه در این زمینه، بهره‌گیری از ترکیب باتری-ابرخازن می‌باشد. دراین ترکیب باتری، چگالی انرژی وابرخازن چگالی توان مورد نیاز سیستم را تامین می‌نماید. مقالات متعددی به بررسی این ترکیب و مزایای آن پرداخته‌اند. اما نیاز به یک مطالعه اقتصادی و تحلیل کاهش هزینه باتری دریک سیستم ذخیره‌کننده هیبرید باتری-ابرخازن وجود دارد. لذا در مطالعه حاضر به بررسی این موضوع پرداخته شده است. دراین مطالعه، بکارگیری ترکیب باتری-ابرخازن دریک منبع تغذیه بدون وقفه ۳۰ کیلو ولت-آمپری، جهت بررسی پارامترهای ارزیابی سیستم هیبرید ومطالعات اقتصادی مربوطه، همچنین نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار متلب[1]، جهت تایید فرضیات مسئله ارائه گردیده است.

کلیدواژه: باتری، ابرخازن، منبع تغذیه بدون وقفه، عمق دشارژ، وضعیت شارژ

[1] ***Matlab***

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... و

فهرست شکل‌ها ..... ز

فصل ۱- مقدمه **۱**

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- انواع ذخیره سازهای انرژی ۲

۱-۲-۱- ذخیره‌ساز ***pumped hydro power*** ۲

۱-۲-۲- ذخیره ساز انرژی هوای فشرده(***CAES***) ۳

۱-۲-۳- ذخیره‌ساز چرخ طیار ۴

۱-۲-۴- ذخیره سازانرژی مغناطیسی ابررسانا(***SMES***) ۵

۱-۲-۵- باتریها ۶

۱-۲-۶- ابرخازن (خازن الکتروشیمیایی دو لایه) ۷

۱-۳- مقایسه انواع ذخیره سازهای انرژی ۸

۱-۴- سیستم ذخیره‌کننده‌انرژی هیبرید باتری-ابرخازن ۹

۱-۵- هدف از انجام پژوهش ۱۰

۱-۶- نوآوری پژوهش ۱۱

۱-۷- ساختار پایان نامه ۱۱

فصل ۲- منابع تغذیه بدون وقفه ۱۲

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- دسته بندی انواع ***UPS***های موجود ۱۳

۲-۲-۱- ***UPS***های استاتیک ۱۳

۲-۲-۱-۱- ***UPS*** آنلاین ۱۴

۲-۲-۱-۲- ***Off-Line UPS*** ۱۷

۲-۲-۱-۳- ***Line –interactive UPS*** ۱۹

۲-۲-۲- ***UPS***های چرخشی ۲۵

۲-۲-۳- ***UPS*** های هیبرید استاتیک/چرخشی ۲۶

۲-۳- نتیجه‌گیری ۲۸

فصل ۳- باتریها ۲۹

۳-۱- مقدمه ۲۹

۳-۲- اساس کار باتریها ۲۹

۳-۳- انواع باتری و مشخصات آنها ۳۲

۳-۳-۱- ظرفیت باتری ۳۲

۳-۳-۲- چگالی انرژی ۳۳

۳-۳-۳- ضریب نسبت ***C*** ۳۳

۳-۳-۴- تلفات و بازدهی ۳۴

۳-۳-۵- دوره سیکل ۳۴

۳-۳-۶- ولتاژ سلول ۳۵

۳-۴- انواع مدلهای باتری ۳۵

۳-۴-۱- مدلهای الکتروشیمیایی ۳۵
۳-۴-۲- مدلهای مدار الکتریکی ۳۶
۳-۴-۳- مدلهای تحلیلی ۳۷
۳-۴-۳-۱- قانون ***Peukert*** ۳۸
۳-۴-۳-۲- مدل ***Rakhmatov*** و ***Vrudhula*** ۳۸
۳-۴-۳-۳- مدل سینتیک باتری ۳۸
۳-۴-۴- مدلهای تصادفی ۳۸
۳-۴-۴-۱- مدل اول تصادفی ۳۹
۳-۴-۴-۲- مدل ***KiBaM*** اصلاح شده تصادفی ۳۹
۳-۵- مقایسه مدلهای موجود ۳۹
۳-۶- نتیجه‌گیری ۴۰

فصل ۴- مشخصات ومدلسازی ابرخازن ۴۲

۴-۱- مقدمه ۴۲
۴-۲- ساختار ابرخازن ۴۳
۴-۳- مدل ساده ابرخازن و روش های اندازه گیری پارامترهای آن ۴۴
۴-۳-۱- روش اندازه گیری ***dc*** ۴۵
۴-۳-۲- روش اندازه گیری ***AC*** ۴۸
۴-۴- بررسی اثر تغییرات دما بر ظرفیت (***C***) و مقاومت داخلی(***ESR***) ۵۰
۴-۵- مدار معادل دقیق ابرخازن ۵۲
۴-۵-۱- شناسایی و تعیین پارامترها ۵۵
۴-۵-۱-۱- تعیین پارامترهای شاخه اول ۵۵

۴-۵-۱-۲- تعیین پارامترهای شاخه های موازی ۵۷
۴-۶- نتیجه گیری ۶۰
فصل ۵- ذخیره ساز انرژی هیبرید باتری-ابرخازن ۶۱
۵-۱- مقدمه ۶۱
۵-۲- مشخصات سیستم ذخیره‌ساز انرژی ترکیبی ۶۲
۵-۳- محاسبات و مدلسازی اجزای سیستم پیشنهادی ۶۴
۵-۳-۱- مدلسازی و محاسبه ابرخازن ۶۵
۵-۳-۲- مدلسازی و محاسبه باتری ۶۷
۵-۳-۳- مدلسازی مبدل ***DC/DC*** ۶۸
۵-۳-۳-۱- محاسبه ظرفیت سلف ۷۰
۵-۳-۳-۲- محاسبه خازن لینک ***dc*** ۷۱
۵-۳-۴- مدلسازی بار ۷۲
۵-۴- عملکرد سیستم و کنترل آن ۷۲
۵-۵- شبیه سازی سیستم ذخیره‌ساز انرژی ترکیبی ۷۴
۵-۶- پارامترهای ارزیابی سیستم ذخیره کننده انرژی هیبرید ۸۱
۵-۷- شبیه سازی یک ***UPS*** دارای سیستم ترکیبی ذخیره‌سازی انرژی ۸۵
۵-۷-۱- سیستم کنترل ۸۷
۵-۸- نتیجه گیری ۹۰
فصل ۶- آنالیز افزایش طول عمرو کاهش هزینه باتری در منابع تغذیه بدون وقفه ۹۱
۶-۱- مقدمه ۹۱

۶-۲- تاثیر سیستم هیبرید بر طول عمروهزینه باتری..... ۹۱
۶-۳- نتیجه‌گیری..... ۹۵
فصل ۷- ساخت آزمایشگاهی سیستم ذخیره‌ساز انرژی هیبرید..... ۹۷
۷-۱- مقدمه..... ۹۷
۷-۲- ساختار وعملکرد نمونه آزمایشگاهی..... ۹۷
۷-۳- سیستم کنترل..... ۹۹
۷-۴- نتایج مدارعملی پیاده‌سازی شده..... ۱۰۱
۷-۵- نتیجه‌گیری..... ۱۰۲
فصل ۸- نتیجه گیری و پیشنهادها..... ۱۰۴
۸-۱- نتیجه‌گیری..... ۱۰۴
۸-۲- پیشنهادها..... ۱۰۵
ضمیمه أ - دستورات نوشته شده در نرم افزار متلب جهت کنترل سیستم ذخیره ساز انرژی ترکیبی ۱۰۶
ضمیمه ب -دستورات نوشته شده در میکروکنترلر جهت کنترل سیستم ذخیره ساز انرژی ترکیبی ساخته شده..... ۱۰۸
فهرست مراجع..... ۱۱۳

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱: مقایسه انواع ذخیره کننده‌ها [۱]..... ۸

جدول ۳-۱: مقایسه باتریها..... ۳۲

جدول ۵-۱: مشخصات سیستم پیشنهادی..... ۶۳

جدول ۵-۲: مشخصات ابرخازن..... ۶۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: ذخیره ساز ***Pumped hydro power*** ۲

شکل ۱-۲: عملکرد ذخیره‌ساز***CAES*** [۲] ۴

شکل ۱-۳: عملکرد یک ذخیره‌ساز چرخ طیار ۵

شکل ۱-۴: ساختار یک***SMES*** ۶

شکل ۱-۵: ابرخازن ۷

شکل ۱-۶: مقایسه انواع ذخیره کننده های انرژی از لحاظ زمان دشارژ دربرابر توان سیستم (*EPRI, 2008* : مرجع) ۸

شکل ۱-۷: مشخصات یک سیستم هیبرید ۹

شکل ۱-۸: بلوک دیاگرام سیستم پیشنهادی ۱۰

شکل ۲-۱: بلوک دیاگرام یک ***UPS*** آنلاین نمونه[۱۳] ۱۵

شکل ۲-۲: بلوک دیاگرام یک ***Ups*** آفلاین نمونه[۱۴] ۱۷

شکل ۲-۳: بلوک دیاگرام یک ***Ups*** آفلاین نمونه با استفاده از یک ترانسفورمر سه سیم پیچه جهت ایزولاسیون الکتریکی[۱۴] ۱۹

شکل ۲-۴: بلوک دیاگرام یک ***line-interactive Ups*** نمونه [۱۳] ۲۰

شکل ۲-۵: مدار معادل فرکانس پایه یک ***line-interactive Ups*** [۱۴] ۲۰

شکل ۲-۶: دیاگرام فازوری مدار شکل ۲-۵ [۱۴] ۲۱

شکل ۲-۷: دیاگرام فازوری در شرایط ***a***) کمبود ولتاژ و ***b***) بیشبود ولتاژ [۱۴] ۲۲

شکل ۲-۸: بلوک دیاگرام یک ***series–parallel line-interactive (delta-conversion) UPS*** [۱۸] ۲۴

شکل ۲-۹: بلوک دیاگرام یک ***UPS*** چرخشی[۲۰] ۲۵

شکل ۲-۱۰: بلوگ دیاگرام یک ***UPS*** هیبرید نمونه[۲۰] ۲۶

شکل ۳-۱: نمای یک سلول الکتروشیمیایی ۳۰

شکل ۳-۲:تغییرات ولتاژ در برابر سرعت دشارژ(منحنی سمت چپ)-تغییرات ظرفیت در برابر سرعت دشارژ(منحنی سمت راست) ۳۱

شکل ۳-۳: اثر بازیابی در باتری ۳۱

شکل ۳-۴: شماتیک پایه‌ای از مدلهای الکتریکی انواع باتری[۲۶] ۳۷

شکل ۴-۱: ساختار یک ابرخازن ۴۳

شکل ۴-۲: مدار معادل بسیار ساده یک ابرخازن[۳۶] ۴۴

شکل ۴-۳: مدار معادل رایج ابرخازن[۳۶] ۴۴

شکل ۴-۴: مدارمعادل دقیق تر ابرخازن[۳۶] ۴۵

شکل ۴-۵: مجموعه آزمایشگاهی جهت اندازه گیری پارامترهای ابرخازن ۴۶

شکل ۴-۶: شکل موج شارژ و دشارژ ابرخازن[۳۷] ۴۶

شکل ۴-۷: نمودار دشارژ ابرخازن [۳۷] ۴۸

شکل ۴-۸: تغییرات ظرفیت ابرخازن با دماوفرکانس [۳۷] ۴۹

شکل ۴-۹: تغییرات مقاومت سری ابرخازن بادما وفرکانس [۳۷] ۵۰

شکل ۴-۱۰: مدار معادل ابرخازن قابل استفاده درکلیه فرکانسها[۴۴] ۵۴

شکل ۴-۱۱: مدار معادل ابرخازن جهت استخراج پارامترها در هر بازه زمانی[۴۴] ۵۹

شکل ۵-۱: دیاگرام مداری سیستم پیشنهادی ۶۳
شکل ۵-۲: مدارمعادل ابرخازن[۶۳] ۶۵
شکل ۵-۳: منحنی مشخصه ولتاژ-ظرفیت باتری[۶۷] ۶۸
شکل ۵-۴: جزئیات مبدل ***DC/DC*** سیستم ذخیره‌ساز انرژی هیبرید ۶۹
شکل ۵-۵: شکل موج جریان بار ۷۲
شکل ۵-۶: بلوک کنترل مبدل ***boost*** باتری ۷۳
شکل ۵-۷: بلوک کنترل مبدل ***boost*** ابرخازن ۷۳
شکل ۵-۸: بلوک دیاگرام سیستم پیشنهادی در نرم افزار متلب ۷۵
شکل ۵-۹: شکل موج جریان بار ۷۶
شکل ۵-۱۰: شکل موج توان بار ۷۶
شکل ۵-۱۱: شکل موج ولتاژ لینک ***dc*** به ازای ***K=0*** ۷۶
شکل ۵-۱۲: شکل موج ولتاژ لینک ***dc*** به ازای ***K=10*** ۷۷
شکل ۵-۱۳: شکل موج ولتاژ لینک ***dc*** به ازای ***K=30*** ۷۷
شکل ۵-۱۴: شکل موج ولتاژ لینک ***dc*** به ازای ***K=50*** ۷۷
شکل ۵-۱۵: شکل موج جریان باتری به ازای ***K=0*** ۷۸
شکل ۵-۱۶: شکل موج جریان باتری به ازای ***K=10*** ۷۸
شکل ۵-۱۷: شکل موج جریان باتری به ازای ***K=30*** ۷۸
شکل ۵-۱۸: شکل موج جریان باتری به ازای ***K=50*** ۷۹
شکل ۵-۱۹: شکل موج جریان ابرخازن به ازای ***K=0*** ۷۹
شکل ۵-۲۰: شکل موج جریان ابرخازن به ازای ***K=10*** ۸۰

شکل ۵-۲۱: شکل موج جریان ابرخازن به ازای ***K=30*** ۸۰

شکل ۵-۲۲: شکل موج جریان ابرخازن به ازای ***K=50*** ۸۰

شکل ۵-۲۳: شکل موج ولتاژ پایانه‌های بانک ابرخازن به ازای ***K=50*** ۸۱

شکل ۵-۲۴: تغییرات بهره جریان باتری به ازای تغییرات***K*** ، شبیه سازی شده در نرم افزار متلب ۸۳

شکل ۵-۲۵: تغییرات بهره تلفات انرژی باتری به ازای تغییرات***K*** ، شبیه سازی شده در نرم افزار متلب ۸۴

شکل ۵-۲۶: تغییرات بازدهی انرژی کل باتری به ازای تغییرات***K*** ، شبیه سازی شده در نرم افزار متلب ۸۴

شکل ۵-۲۷: بلوک دیاگرام یک ***UPS*** مشتمل بر ذخیره‌ساز انرژی هیبرید، شبیه سازی شده در نرم افزار متلب ۸۵

شکل ۵-۲۸: شکل موج ولتاژ خروجی ***UPS*** در سیستم پیشنهادی ۸۶

شکل ۵-۲۹: شکل موج جریان بار ***UPS*** در سیستم پیشنهادی ۸۶

شکل ۵-۳۰: فلوچارت سیستم کنترل ذخیره‌ساز انرژی ترکیبی ۸۷

شکل ۵-۳۱: شکل موج ولتاژ لینک ***dc*** در حضور ابرخازن ۸۸

شکل ۵-۳۲: شکل موج ولتاژ لینک ***dc*** در غیاب ابرخازن ۸۸

شکل ۵-۳۳: شکل موج جریان باتری درحضور ابرخازن ۸۹

شکل ۵-۳۴: شکل موج جریان باتری درغیاب ابرخازن ۸۹

شکل ۵-۳۵: شکل موج جریان ابرخازن ۹۰

شکل ۶-۱: نمودار تعداد سیکل های عملکرد در برابر عمق دشارژ یک باتری ***Lead-Acid*** [۷۴] ۹۲

شکل ۶-۲: شکل موج جریان بار ۹۳

شکل ۶-۳: نمودار تغییرات عمق دشارژباتری (***DOD***) در برابر تغییرات ***K*** ۹۴

شکل ۶-۴: نمودار تغییرات تعداد سیکلهای عملکرد باتری در برابر تغییرات ***K*** ۹۴

شکل ۶-۵: نمودار تغییرات هزینه باتری مورد استفاده در برابر تغییرات K در بازه زمانی معین ۹۵

شکل ۷-۱: بلوک دیاگرام نمونه آزمایشگاهی ۹۷

شکل ۷-۲: مدار آزمایشگاهی ساخته شده ۹۹

شکل ۷-۳: فلوچارت سیستم کنترل مبدل ***boost*** ۱۰۰

شکل ۷-۴: جریان کشیده شده از باتری زمانیکه کلیدهای ***S1*** و ***S2*** باز می‌باشند ۱۰۱

شکل ۷-۵: جریان کشیده شده از باتری زمانیکه تنها کلید ***S2*** وصل باشد ۱۰۲

شکل ۷-۶: جریان کشیده شده از باتری زمانیکه هر دو کلید وصل باشند ۱۰۲

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

تامین انرژی الکتریکی پیوسته و با کیفیت یکی از نیازهای جامعه امروزی است. به نحوی که وقفه‌های کوتاه‌مدت می توانند خسارات بسیار سنگینی را وارد نمایند. از بین رفتن اطلاعات سیستمهای کامپیوتری، عملکرد نامناسب سیستم های کنترلی در خط تولید کارخانجات، وقفه در عملکرد تجهیزات بیمارستانی و... نمونه هایی از اینگونه خسارات می باشند.

در این میان منابع تغذیه بدون وقفه (***UPS***)[۱]، نقش مهمی در تامین انرژی پایدار و با کیفیت بازی می کنند. اینگونه منابع به دلیل بهره‌گیری توام ادوات الکترونیک قدرت و ذخیره کننده های انرژی الکتریکی، عملکرد و انعطاف پذیری بسیار بالایی دارند. با این وجود، در سیستم ذخیره کننده انرژی دچار ضعف‌هایی می‌باشند. ذخیره کننده رایج مورد استفاده در ***UPS***ها باتری می‌باشد. باتریها به دلیل ساختار فیزیکی منحصر به فردشان برخلاف چگالی انرژی بالا ، چگالی توان پایینی دارند. علاوه بر این توان کشیده شده از آنها رابطه مستقیمی با طول عمرشان دارد. این موضوع باعث می‌گردد در کاربردهایی که نیاز به توان بالایی می باشد، باتریهای با ظرفیت بالاتری انتخاب گردند. که باعث افزایش حجم، وزن و قیمت تمام شده سیستم می‌گردد. یکی از راهکارهای مناسب در این زمینه، استفاده از سیستم‌های ذخیره‌کننده انرژی هیبرید می‌باشد. سیستم ذخیره‌کننده انرژی هیبرید، متشکل از دو یا چند ذخیره ساز انرژی است. به نحوی که عملکرد مجموعه ارتقاء یابد. یکی از ذخیره‌سازهای انرژی قابل استفاده، ابرخازن[۲] می‌باشد. ابرخازن در مقایسه با باتری، قابلیت ارائه چگالی توان بالاتر و چگالی انرژی پایین‌تری را دارد. ترکیب این دو عنصر می تواند مجموعه ای را فراهم آورد که

---

[1] ***Uninterruptible power supply***

[2] ***Supercapacitor***

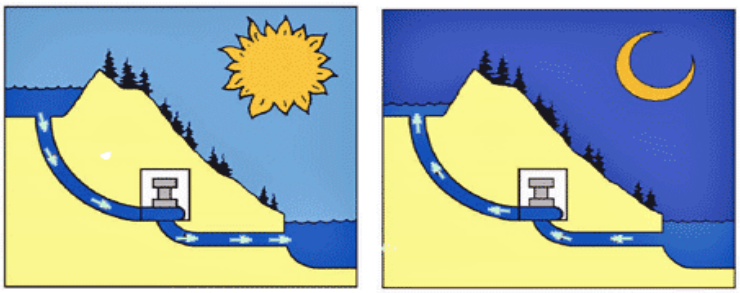
مزایای هر دو را همزمان دارا باشد. لذا در این مطالعه، به بررسی تاثیر سیستم ذخیره کننده انرژی هیبرید باتری ـ ابرخازن در یک منبع تغذیه بدون وقفه پرداخته، شاخصهای ارزیابی ومسائل اقتصادی سیستم هیبریدمورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد.

۱–۲– انواع ذخیره سازهای انرژی

تاکنون ذخیره کننده‌های انرژی مختلفی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند. لذا شناخت انواع ذخیره‌کننده‌ها و مشخصات آنها جهت انتخاب سیستم هیبرید مطلوب، بسیار مفید است. در این فصل ابتدا انواع ذخیره‌کننده‌های انرژی موجود بررسی، سپس مزایا و معایب هر کدام بیان می گردد. در ادامه سیستم ذخیره‌کننده انرژی هیبرید باتری ـ ابرخازن پیشنهادی ارائه و عملکرد آن بیان می گردد.

۱–۲–۱– ذخیره‌ساز *pumped hydro power*

این ذخیره ساز از سال ۱۹۲۹ استفاده می‌شده است. این وسیله، قدیمی ترین تکنولوژی ذخیره‌ساز انرژی بصورت مرکزی می باشد. در حقیقت تا سال ۱۹۷۰ تنها گزینه ذخیره‌ساز تجاری، جهت کاربردهای تولید توان بود.



شکل ۱-۱: ذخیره ساز *Pumped hydro power*

Pumped hydro معمولی متشکل از دو مخزن بزرگ است: یکی در سطح مبنا و دیگری در ارتفاع بالاتر قرار می گیرد. در ساعتهای غیر پیک و یا زمانهایی که انرژی مازاد وجود دارد (بطور مثال در شب که باد به شدت می‌وزد و نیروگاههای بادی در حال تولید انرژی می باشند) آب از منبع پایین به منبع بالاتر پمپ شده و بصورت انرژی پتانسیل ذخیره می‌گردد. هنگام نیاز به انرژی الکتریکی، آب ذخیره شده در ارتفاع بیشتر به سمت منبع پایین آزاد می‌شود. و از توربین های هیدرولیک که تا قدرت های ۱۰۰۰مگاوات موجود می باشند، عبور داده می‌شود.

موانع افزایش استفاده از این تکنولوژی ذخیره انرژی را، می توان مواردی مانند افزایش قیمت و زمان ساخت و مشکلات محیطی و زمین شناسی مربوط به طراحی مخزن دانست. در حال حاضر موارد استفاده از چنین ذخیره سازهایی در وسایل زیر زمینی است. [۱]

۱-۲-۲- ذخیره ساز انرژی هوای فشرده(*CAES*)[1]

نیروگاههای ***CAES*** از انرژی غیر پیک، جهت فشرده سازی و ذخیره هوا در حفره‌ها و مخازن ذخیره زیرزمینی محکم استفاده می‌کنند. در هنگام نیاز به انرژی، هوای فشرده مخزن، آزاد شده، گرم و منبسط گردیده و جهت تولید انرژی الکتریکی از یک توربین عبور داده می شود. در سال ۱۹۹۱ اولین وسیله ***CAES*** در آمریکا در مکینتاش، آلاباما با همکاری شرکت آلاباما و ***EPRI*** ساخته شد و ظرفیتی در حدود ۱۱۰ مگاوات داشت. در حال حاضر تولید کنندگان، قادر به تولید تجهیزات ***CAES*** جهت توانهای ۵ تا ۳۵۰ مگاوات می باشند.

ذخیره سازهای انرژی هوای فشرده، در حالت عادی دارای ماکزیمم راندمان ۵۵٪ می باشند. در نیروگاههای جدید که سیکل تولید انرژی توسط توربین گازی را با استفاده از این روش بهبود داده‌اند، بازدهی ممکن است به

[1] ***Compressed air energy storage***