وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان

کنفرانس ملی فناوری های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر

۲۷ دی ۱۳۹۶

کنفرانس ملی فناوری های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر

طراحی سیستم ذخیره انرژی هایبرید برای خودروهای الکتریکی

امیرحسین استادشریف، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق – قدرت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
(amiramir123@yahoo.com)
حمیدرضا بهبهانی فرد، استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
(h-behbahani@mut-es.ac.ir)

Archive of SID

چکیده

استفاده از یک سیستم ذخیره کننده انرژی الکتریکی[1] مناسب تاثیر زیادی در بهبود بازده وسایل نقلیه الکتریکی دارد. سیستم هایی که از **باتری** به تنهایی استفاده می کنند دارای مشکلاتی هستند. به عنوان مثال چگالی توان باتری در خودرو باید بالا باشد تا بتواند توان مورد نیاز در هنگام شتاب‌گیری را تامین کند. در کاربردهایی که نیاز به شارژ و دشارژ مکرر دارند طول عمر باتری به شدت کم می شود که با استفاده از ترکیب باتری و ابرخازن[2] می توان با برطرف سازی این موانع باعث بهبود عملکرد، افزایش بازده خودروهای الکتریکی، افزایش طول عمر باتری، رفع مشکلات خودروی برقی و ترغیب به استفاده بیشتر از این نوع خودروها می شود

در این مقاله سیستم های ذخیره کننده انرژی ترکیبی باتری و ابر خازن مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات انواع باتری ها و ابرخازن ها آورده شده و مقایسه ای بین این دو عنصر ذخیره کننده انرژی انجام گرفته و مزایا و معایب هر یک مشخص شده است. در ادامه برخی از اتصالات باتری و ابرخازن در سیستم ذخیره انرژی ترکیبی معرفی شده است. سپس مدهای مختلف عملکرد یک نمونه از سیستم ذخیره کننده انرژی ترکیبی ارائه شده است. در انتها برای ارزیابی سیستم ترکیبی انتخاب شده توسط نرم افزار متلب[3] شبیه سازی شده است.

کلیدواژه‌ها: سیستم ذخیره کننده انرژی ترکیبی، ، باتری، ابرخازن، مبدل dc-dc، خودرو الکتریکی

[1] - Electrical Energy Storage System(EESS)
[2]- Supercapacitor
[3] - Matlab software

www.SID.ir

1- مقدمه

به دلیل تاثیر موتورهای احتراق داخلی در آلودگی هوا و نشر گازهای گلخانه ای و به هدر رفتن انرژی، امروزه اکثر تحقیقات به سمت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به جای استفاده از سوخت های فسیلی به خصوص در صنایع خودروسازی گام برداشته است و استفاده از وسیله نقلیه الکتریکی مورد توجه قرار گرفته است. لذا بازده این وسایل بسیار قابل اهمیت است. یکی از پارامتر های مهم در بهبود بازده این وسایل نقلیه سیستم ذخیره انرژی است. سیستم هایی که از باتری به تنهایی استفاده می کند دارای مشکلاتی هستند به عنوان مثال چگالی توان باتری در خودرو باید بالا باشد تا بتواند پیک توان مورد نیاز را در هنگام شتاب‌گیری تامین کند. اگرچه برای حل این مشکل می توان باتری هایی با چگالی توان بالا استفاده کرد ولی قیمت آنها بسیار بالا است.یا راه حل دیگر افزایش حجم باتری است که با توجه به محدودیت های حجم و وزن این کار در خودرو میسر نسیت . همچنین مدیریت گرما در باتری چالش بزرگی است، زیرا نه تنها نیاز به سرد کردن باتری در دماهای بالاو تحت بار سنگین داریم، بلکه در دماهای پایین هم برای رسیدن به نقطه مطلوب باید باتری را گرم نگه داریم . موضوع دیگر تعادل بین سلولهای باتری است که تاثیر زیادی روی عمر آن دارد . عدم تعادل باعث می شود ولتاژ هر سلول با دیگری متفاوت باشد و ظرفیت کل به مرور زمان کم شود . این شرایط تحت شارژ و دشارژهای سریع بدتر هم می‌شود . در کاربردهایی که نیاز به شارژ و دشارژ مکرر دارند طول عمر باتری به شدت کم می شود که با استفاده از ترکیب باتری و ابر خازن می توان با برطرف سازی این موانع باعث بهبود عملکرد، افزایش بازده خودروهای الکتریکی، افزایش طول عمر باتری، رفع مشکلات خودروی برقی و ترغیب به استفاده بیشتر از این نوع خودروها می شود. در ادامه چندین نمونه از اتصالات میان ابرخازن و باتری آورده شده و یک نمونه از آن نیز شبیه سازی شده است.[1]

2- مشخصات ابرخازن ها و باتری ها

باتری ها و ابرخازن ها در دسته تجهیزات الکتروشیمایی قرار می‌گیرند. البته اصول کاری آنها متفاوت بوده و مشخصات متفاوتی را نتیجه می‌دهند. برخی از خصوصیات کلیدی باتری ها و ابر خازن ها در جدول زیر آورده شده است.[2]

جدول 1: ویژگی های باتری ها

باتری	چگالی انرژی (Wh/kg)	چگالی توان (W/kg)	عمر چرخه
نیکل کادمیوم	60-40	150-80	800
نیکل روی	75-55	260-170	300
لیتیوم یون	130-80	300-200	1000+
لید اسید	50-33	400-150	1000-500

Archive of SID
www.SID.ir

جدول2: ویژگی های ابرخازن

	چگالی انرژی (Wh/kg)	چگالی توان (W/kg)	عمر چرخه
ابرخازن	30-2	10000-4000	1000000

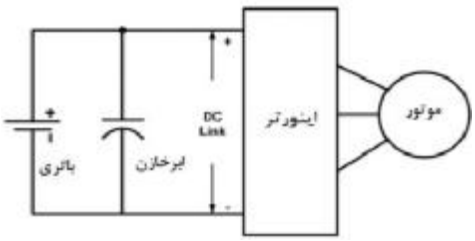
همانگونه که جداول نشان می دهند با مقایسه میان آن ها می توان دریافت که هر کدام دارای مزایایی نسبت به دیگری است. برای مثال باتری ها چگالی انرژی بالا و چگالی توان پایینی دارند. درعوض ابر خازن ها چگالی انرژی خیلی کمتر و چگالی توان به مراتب بالاتری دارند.

از مزیت های دیگر ابرخازن عمر آن است که به میلیون ها چرخه می رسد که بسیار بیشتر از باتری ها است.و همچنین ابر خازن ها در نقطه دمایی پایین تری نسبت به باتری عمل می کنند که این مورد از عمده مشکلات باتری ها هستند بنابراین می توان ابرخازن و باتری را به عنوان یک مکمل مناسب برای یک دیگر مطرح کرد. در واقع ترکیب باتری و ابرخازن به عنوان یک سیستم ذخیره کننده انرژی هیبرید کارآیی بهتری برای استفاده در خودرو هیبرید دارد.

3-برخی از سیستم های ذخیره کننده انرژی هیبرید باتری و ابرخازن

3-1- ساختار موازی غیر فعال

ترکیب این ساختار در شکل 1 نشان داده شده است. این ساختار ساده ترین روش ترکیب باتری و ابرخازن است که در آن از هیچ مبدل الکترونیک قدرتی استفاده نشده است. در این روش هر دو منبع با هم موازی هستند $(V_{batt} = V_{uc})$و ابر خازن در اصل به صورت یک فیلتر پایین گذر عمل می کند. مزیت این روش سادگی و ارزانی آن و عدم نیاز به مبدل الکترونیک قدرت است. و اصلی ترین مشکل آن این است که‌نمی توان از انرژی موثر ذخیره شده در ابر خازن استفاده کرد.[3],[4]



شکل 1: ساختار موازی غیر فعال

3-1-2 استفاده موثر از انرژی ذخیره شده در خازن

اگر چه انرژی منتقل شده در باتری صرفا تابعی از ولتاژ نیست ولی ابرخازن ها از قانون عمومی انرژی ذخیره شده در خازن، که با توان دوم ولتاژ مرتبط است، پیروی می‌کنند.

Archive of SID
www.SID.ir

$$E_{Cap} = \frac{1}{2}CV^2 \qquad (1)$$

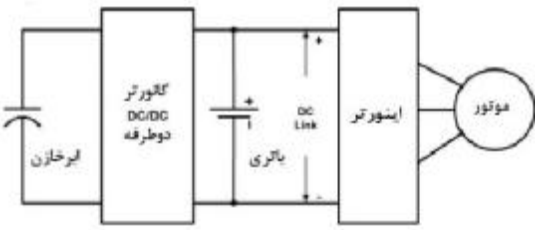
برای استفاده تنها 75 در صد از انرژی ذخیره شده در خازن، باید ولتاژ آن به نصف تقلیل یابد . این شاخص یکی از مهمترین معیارهای ارزیابی سیستم ذخیره انرژی می باشد .اگر ابرخازن یا مبدل به شین dc [1] متصل می شد آنگاه 100 درصد از انرژی ابرخازن مورد استفاده قرار می‌گرفت. اگر چه یک حاشیه اطمینانی برای جلوگیری از شارژ معکوس سلول های نا متعادل، در نظر گرفته می‌شود و هیچ گاه ولتاژ کاملا به صفر نمی رسد. اگر یک تغییر 66 درصدی ولتاژ میسر باشد می توان از 90 درصد انرژی ابر خازن استفاده نمود. اگر باتری و ابرخازن به صورت غیر فعال موازی شده باشند ولتاژ ابرخازن به خاطر باتری تغییر زیادی پیدا نمی‌کند. حتی در بهترین حالت اگر ولتاژ باتری در یک رانش سریع خودرو20 درصد افت کند، انرژی بدست آمده از ابرخازن به صورت زیر است.

$$Eff_{Cap} = \frac{E_{مفید}}{E_{کل}} = \frac{(1/2)C.V_{Nom}^2 - (1/2)C.V_{Min}^2}{(1/2)C.V_{Min}^2} = \frac{V_{Nom}^2 - V_{Min}^2}{V_{Nom}^2} = 36\% \qquad (2)$$

بنابراین در خوشبینانه ترین حالت می توان از 36% انرژی ذخیره شده در خازن در ساختار موازی غیر فعال استفاده کرد.

3-2- ساختار باتری متصل به خازن از طریق مبدل

بیشترین مطالعه و تحقیق روی این ساختار صورت گرفته است. ترکیب این حالت در (شکل 2) به نمایش در آمده است و با استفاده از یک مبدل dc به dc دو طرفه، می توان از ابر خازن در رنج ولتاژهای مختلف استفاده نمود.به خاطر اتصال مستقیم ابر خازن نیاز به مبدل قوی و بزرگی می باشد همچنین باتری مستقیما به شین dc وصل است در نتیجه ولتاژ آن زیاد تغییر نمی کند.[3]



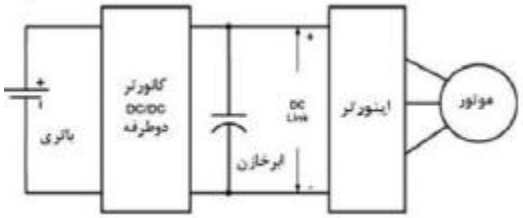
شکل 2-الف: ساختار باتری متصل به خازن از طریق مبدل

با جابجا کردن باتری و ابرخازن میتوان به ساختار جدیدی رسید که در این ساختار ولتاژ باتری می تواند پایین تر یا بالاتر از ولتاژ ابرخازن قرار گیرد. ابر خازن مستقیما به شین dc وصل است و به عنوان یک فیلتر پایین می گذر عمل کند . اگر کنترل اعمالی در این ساختار اجازه تغییر نسبتا زیاد ولتاژ شین dc را بدهد

[1] DC link

Archive of SID
www.SID.ir

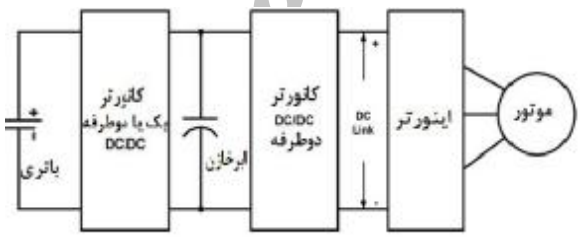
می‌توان از انرژی موثر ابرخازن استفاده کرد در غیر این صورت نمی توان به طور کامل از ظرفیت آن استفاده نمود،در این ترکیب باتری به دلیل جدا بودن ازشین dcدر مقابل نوسانات شارژ و دشارژ ایمن است، و به دلیل استفاده از مبدل dcبه dc توان ورودی و خروجی باتری قابل کنترل است، و نوسانات توان در طی شتابگیری و ترمز احیاگر[1] توسط ابر خازن از شبکه dc گرفته می شودکه سبب افزایش بازده سیستم می شود[5]



شکل 2-ب: ساختار باتری متصل به خازن از طریق مبدل

3-3- ساختار پشت سر هم[2]

برای عملکرد بهتر ساختار باتری - ابرخازن یک مبدل دو طرفه دیگر بین ابر خازن و شینه dc قرار گرفته است و ساختار پشت سرهم را تشکیل داده است،در این ساختار به دلیل و جود مبدل ولتاژ ابرخازن می تواند در محدوده وسیعی تغییر کند و محدودیت استفاده از تمام انرژی موثر خازن را ندارد . [4]



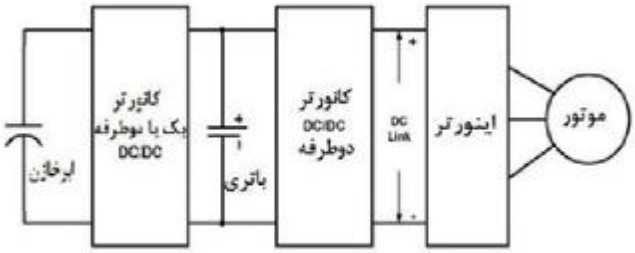
شکل3-الف: ساختار cascade (پشت سر هم)

3-3-1- ساختار پشت سرهم نوع دوم

با جابجا کردن باتری و ابرخازن میتوان به ساختار جدیدی رسید که در (شکل 3-ب) مشخص است. در این مبدل باتری به سطح ولتاژ متوسط متصل شده است و ولتاژ ثابتی را در پایانه مبدل تولید می کند. این نوع نیازمند مبدل قوی تر و گران تری دارد.[5]

[1] Regenerative Braking
[2] Cascaded

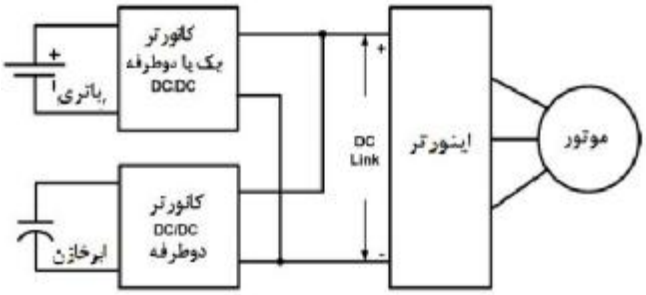
www.SID.ir



شکل3-ب: ساختار cascade (پشت سر هم)

3-4- ساختار چند مبدله

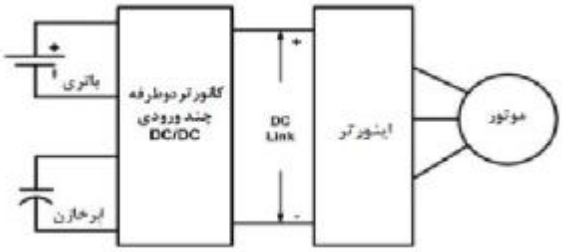
در این روش به جای اتصال پشت سر هم دو مبدل آنها را با هم موازی می کنند. همانطور که در شکل زیر مشاهده می کنید خروجی هر دو مبدل برابر ولتاژ شین dc می باشد. همچنین چون ولتاژ ابر خازن می تواند در رنج وسیعی تغییر کند، باعث می شود بتوان از تمام انرژی موثر ابرخازن استفاده کرد. عیب اصلی این روش افزایش قیمت به دلیل نیاز به دو مبدل کامل است. [6],[4]



شکل 4: ساختار چند مبدله

3-5- ساختار مبدل چند ورودی

به دلیل گران بودن ساختار چند مبدلی و نیاز به حداقل دو مبدل برای ارتباط باتری و ابرخازن، ساختار مبدل چند ورودی پیشنهاد شده است به این صورت که از یک مبدل با دو ورودی برای باتری و ابرخازن استفاده شده است دیاگرام این نوع ساختار در شکل زیر آمده است. کنترل این مبدل بسیار پیچیده است.[4]

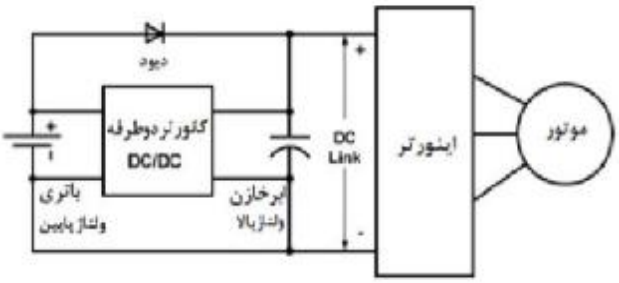


شکل 5- ساختار مبدل چند ورودی

www.SID.ir

3-5- ساختار ترکیبی

اختلاف زیاد بین پیک توان و متوسط توان مورد نیاز برای خودرو این ایده را به ذهن می آورد که اگر از یک ابرخازن مناسب به عنوان بافر توان های بالا استفاده کنیم آنگاه یک مبدل dc-dc با توان ثابت برای شارژ بافر نیاز خواهیم داشت. یعنی با به حداکثر رساندن ظرفیت ابرخازن، اندازه مبدل را به حداقل ممکن برسانیم. البته برای یک خودروی با توان مشخص باید مصالحه ای بین این دو بر قرار گردد تا قیمت حداقل شود. در این ساختار که در شکل زیر آمده است برخلاف ساختارهای معمول ولتاژ شین dc می تواند در نسبت های از پیش تعیین شده ای تغییر کند و لزوما ثابت نباشد. یعنی باید درایو موتور طوری طراحی شود که جریان موتور را در ولتاژ های پایین تامین کند. ابرخازن هم همواره به شین dc متصل است و پیک توان را تامین می کند. یک مبدل dc-dc طوری کنترل می شود که همواره ولتاژ ابرخازن را بالاتر از ولتاژ باتری نگه دارد که در این صورت در بیشتر اوقات دیود در بایاس معکوس قرار می گیرد.[4]



شکل 6 : ساختار ترکیبی

3-5-1- بررسی مد های مختلف در یک نمونه انتخاب شده

مدهای عملیاتی این سیستم در 4 مد سرعت ثابت بالا، مد سرعت ثابت پایین، مد شتاب دهی و مد ترمز احیاگر دسته بندی می شوند. در ادامه این چهار مد با جزییات بیشتری مورد بررسی قرارمی گیرد.در این روابط منظور از P_{conv} توان مبدل است و منظور P_{dmd} توان مورد نیاز است.

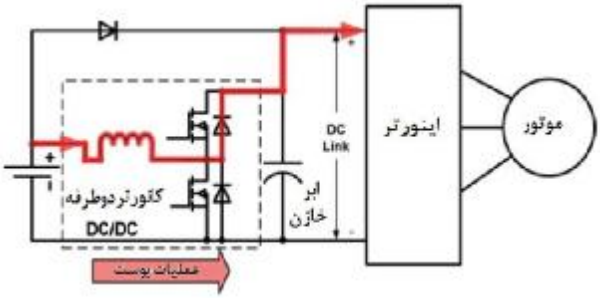
اگر P_{dmd} برابر یا کوچک تر از P_{conv} باشد، این شرایط را سرعت ثابت پایین می نامیم و اگر P_{dmd} بیشتر از P_{conv} باشد را سرعت ثابت بالا می نامیم.[4]

3-5-1- مد سرعت پایین و ثابت خودرو

در این مد چون $P_{conv} > P_{dmd}$ است، ولتاژ ابرخازن می تواند بالاتر از ولتاژ باتری نگه داشته شود.، ولتاژ شین dc هم می تواند در هر مقداری بالاتر از ولتاژ باتری قرار داشته باشد. (شکل 7) مسیر حرکت انرژی را در مد سرعت ثابت و پایین HESS[1] نشان میدهد. در این مد ابرخازن نه انرژی را جذب و نه دفع می کند. بلکه به عنوان یک فیلتر نوسانات جریانی را می گیرد چون به صورت ایده آل سرعت ثابت نمی‌باشد. همچنین چون دیود در بایاس معکوس است هیچ انرژی از این طریق منتقل نمی‌شود و باتری مستقیما انرژی موتور را تامین کند.

[1] Hybrid energy storage system

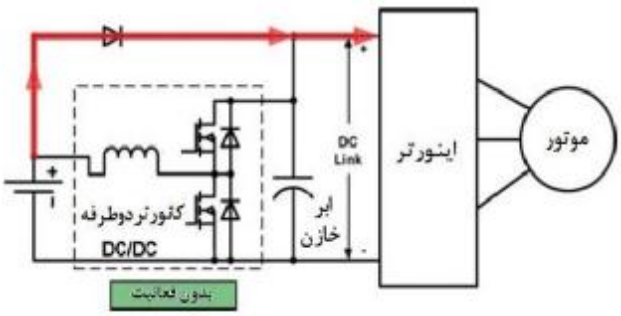
www.SID.ir



شکل 7:جریان انرژی در حالت سرعت پایین و ثابت خودرو

3-5-2- مد سرعت بالا و ثابت خودرو

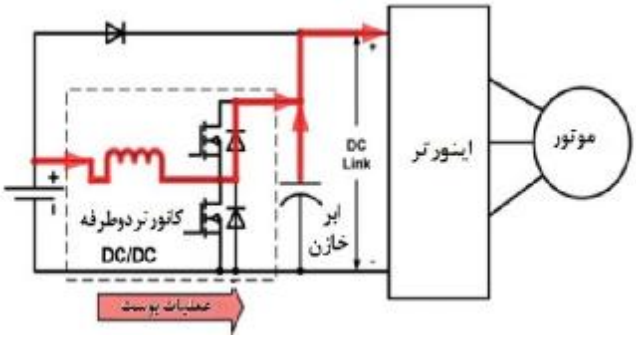
در این مد $P_{conv} < P_{dmd}$ بوده و ولتاژ ابرخازن نمی تواند پس ازمدت کوتاهی بیشتر از ولتاژ باتری بماند . بنابراین دیود بایاس مستقیم می شود و باتری مستقیما انرژی موتور را تامین می کند. و مبدل dc-dc خاموش می شود.



شکل 8::جریان انرژی در حالت سرعت بالا و ثابت خودرو

3-5-3- مد شتاب دهی:

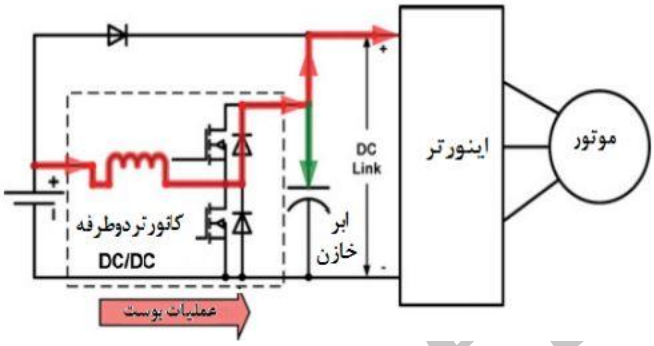
در شروع شتابگیری خودرو فرض می شود $V_{UC} \geq V_{batt}$ و مد $P_{conv} < P_{dmd}$ ولتاژ ابرخازن شروع به کاهش می کند و هم انرژی منتقل شده از مبدل، انرژی شتاب گیری خودرو را تامین می کنند در این حالت انرژی از باتری و ابرخازن به طور همزمان تامین می شود. شکل زیر جریان انرژی را در این مد نشان می دهد.



www.SID.ir

شکل -الف9: جریان انرژی در حالت شتاب دهی

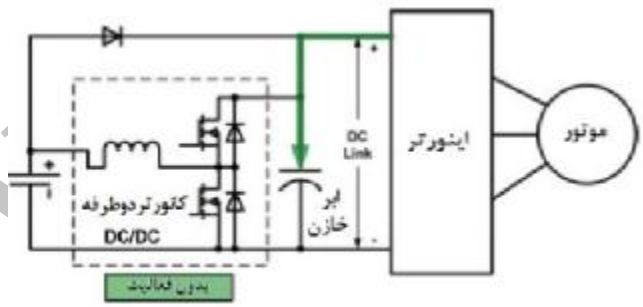
با ادامه کاهش ولتاژ ابرخازن، ولتاژ آن به ولتاژ باتری می رسد و وقتی برابر شد این دو توسط دیود موازی می شوند و سیستم وارد مد سرعت ثابت بالا می شود.اگر $P_{conv} > P_{dmd}$ اختلاف آن ها صرف شارژ ابرخازن می گردد شکل زیر جریان انرژی را در این مد نشان می دهد.



شکل 9-ب: جریان انرژی در حالت شتاب دهی

3-5-4- مد تر مز احیاگر

در این مد زمانیکه ترمز گرفته میشود موتور الکتریکی که در موتوری قرار دارد تغییر وضعیت داده و به حالت ژنراتوری تغییر می یابد در این زمان مقدار زیادی از انرژی بازیابی شده و به ابر خازن انتقال می یابد. به همین خاطر بازده سیستم افزایش میابد. شکل زیر جریان انرژی را در این مد نشان می دهد.



شکل 10: جریان انرژی در حالت ترمز احیاگر

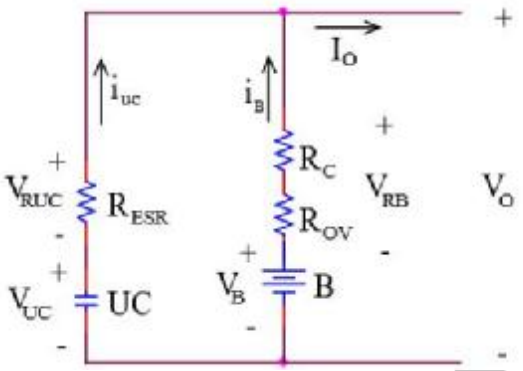
4- شبیه سازی و نتیجه نمونه انتخابی

سیستم ذخیره کننده انرژی الکتریکی هیبرید سیستمی است که بیش از یک عنصر ذخیره کننده انرژی دارد. برای سیستم هیبرید مورد نظر عناصر ذخیره سازی انرژی، باتری و ابر خازن می باشند. این ترکیب به دلیل آن که که باتری و ابر خازن از نقاط قوت یک دیگر استفاده می کنند و ضعف های یکدیگر را جبران می کند، برای استفاده در خودرو مناسب است. با استفاده از این آرایش می توان از چگالی انرژی بالای باتری و چگالی توان بالای ابرخازن در کنار هم، برای افزایش کارآیی سیستم ذخیره کننده انرژی استفاده کرد .در بیشتر

www.SID.ir

آرایش ها از ترکیب موازی باتری و ابر خازن استفاده می شود.در اینجا ترکیب موازی باتری و ابرخازن توسط نرم افزار متلب[1] شبیه سازی شده است.

در (جدول 3) مشخصات مدار شبیه سازی شده آورده شده است. [7]



شکل 11: ترکیب موازی باتری و ابر خازن

جدول 3: مشخصات مدار شبیه سازی شده

جریان ثابت خروجی	50 A
ظرفیت ابرخازن	90F
RC+ROV	0.054
RESR	0.01
VB=VUC	24V

اگر معادلات ترکیب موازی باتری و ابر خازن(شکل 11) را بدست آوریم، می توان برای پیش بینی رفتار انواع مختلف بارها استفاده کرد. در این شبیه سازی یک پالس ثابت به عنوان بار در نظر گرفته شده است.

اگر فرض کنیم که ولتاژ باتری V_B، ولتاژ خروجی V_O، مقاومت ها، و همه ظرفیت ها ثابت باشد می توان به روابط زیر دست یافت.

$$(3) i_{uc}(t) = \frac{(V_{UC_0} - V_B) + I_O R_B}{R_B + R_{ESR}} e^{-t/\tau}$$

$$(4) i_B(t) = I_O - i_{UC}(t)$$

$$(5) V_{UC1} = I_o R_B \left(e^{-T_p/\tau} - 1\right) + V_{uc0}$$

$$(6) T_p = t_1 - t_0$$

جدول 4: تعریف رابطه

ولتاژ ابتدایی ابرخازن	V_{UC0}

[1] matlab

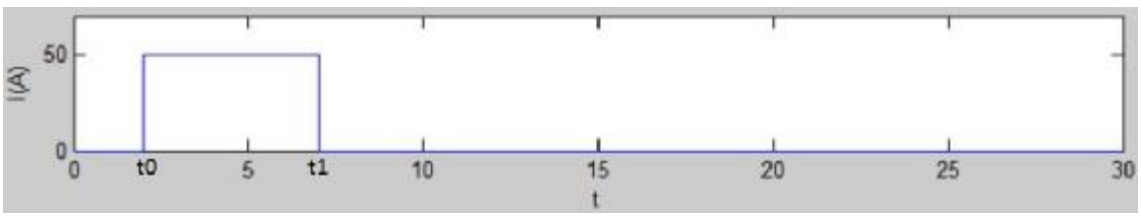
Archive of SID
www.SID.ir

R_B	$R_C + R_{OV}$
τ	$C(R_B + R_{ESR})$
C	ظرفیت ابرخازن
V_O	ولتاژ ثابت خروجی
V_B	ولتاژ ثابت باتری
I_o	جریان ثابت خروجی
$i_{uc}(t)$	جریان ابرخازن
$i_B(t)$	جریان باتری

نمودار شکل (شکل 12-الف) نشان دهنده ی یک پالس می باشد که ما برای شبیه سازی بار این کار را انجام می دهیم و فرض کرده ایم موتور به جریان پنجاه آمپری در لحظه t_0 تا تا لحظه t_1 نیاز دارد و آن را به صورت یک پالس شبیه سازی کرده ایم.

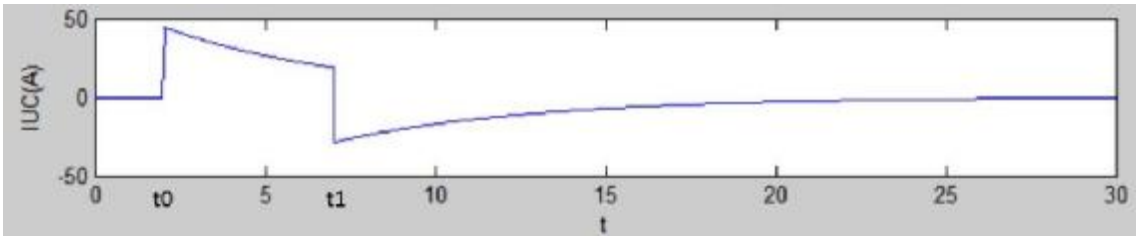
نمودار شکل (شکل 12-ب) نشان دهنده ی جریان ابر خازن و شکل (شکل 12-ج) نشان دهنده ی جریان باتری می باشد در لحظه t_0 زمان وصل شدن بار می باشد در لحظه اول که نیاز به تامین جریان پنجاه آمپر می باشد بخش اعظمی از جریان از ابرخازن گرفته می شود و مقدار کمی از آن از باتری گرفته می شود. با گذشت زمان سهم استفاده شده از جریان ابرخازن به خاطر چگالی توان پایین ابرخازن کاهش یافته و سهم باتری بیشتر می شود.و این عمل تا لحظه t_1 ادامه می یابد که تمام جریان از باتری گرفته می شود. با استفاده از این سیستم ما موفق به تامین جریان زیاد برای بار در یک لحظه شده ایم زیرا باتری به خاطر چگالی انرژی پایین توانایی تامین جریان بار بالا را به طور سریع را ندارد و نیاز به زمان دارد ولی با استفاده از ابر خازن می توان دید که تقریبا بدون هیچ تاخیری تمام جریان در لحظه t_0 از خازن گرفته شده و زمان لازم برای باتری فراهم شده است و بدین صورت باتری و ابرخازن ضعف های یک دیگر را تا حد قابل توجهی پوشش داده اند. بنابراین در این آرایش ابرخارن از باتری در لحظه نیاز به جریان پالسی محافظت می کند و عمر باتری را افزایش میدهد.

نمودار ولتاژ ابرخازن (شکل 12-د)نشان می دهدکه در لحظه t_0 که بار به سیستم متصل می شود ابرخازن در تامین انرژی کمک کرده و ولتاژ آن طبق رابطه ولتاژ ابر خازن که پیش تر ارائه شد تا لحظه t_1 شروع به کاهش می کند و پس از قطع بار دوباره شارژ می شود.و آماده ی سرویس دهی مجدد می شود.

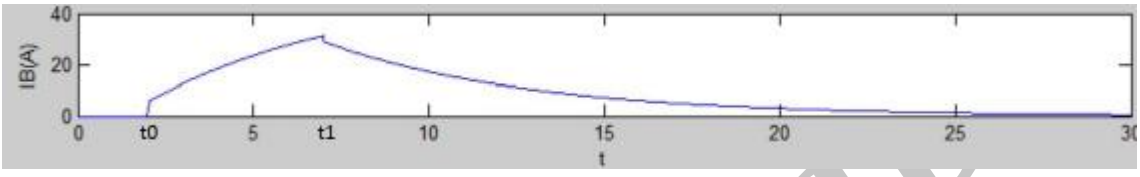


(الف)

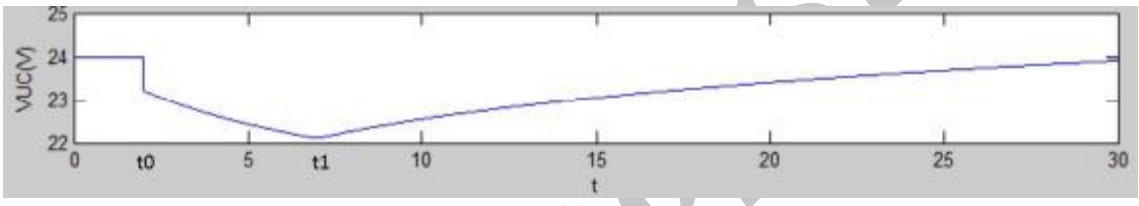
Archive of SID
www.SID.ir



(ب)



(ج)



(د)

شکل 12: نتایج شبیه سازی (الف)جریان ثابت خروجی(ب)جریان ابرخازن(ج)جریان باتری(د)ولتاژ ابر خازن

5- نتیجه گیری:

در ماشین های الکتریکی و هیبریدی به دلیل پایین بودن چگالی توان باتری ها استفاده از یک منبع کمکی با چگالی توان بالاتر نظیر ابرخازن ضروری است. به همین منظور از سیستم ذخیره انرژی ترکیبی که در آن باتری و ابرخازن به طور همزمان در حال استفاده است به جای باتری تنها استفاده می شود. وجود ابرخازن می تواند کاستی های باتری را بهبود بخشد. برای مثال در زمان نیاز به انرژی زیاد در شتابگیری، باتری به خاطر چگالی توان پایین نمی تواند تمام توان مورد نیاز را تامین کند. در این حالت خازن به کمک باتری آمده و توان مورد نیاز را تامین می کند. ویا در موقع استفاده از ترمز احیاگر مقدار زیادی انرژی بازیابی می شود که نمی توان تمام آن را در باتری به طور آنی ذخیره کرد. در اینجا ابرخازن می تواند از هدر رفت انرژی جلوگیری کند و انرژی را به طور آنی در خود ذخیره کند که همین عوامل باعث افزایش بازده و از طرفی با کاهش تعداد دفعات سیکل شارژ و دشارژ باتری ابرخازن باعث افزایش طول عمر باتری می شود.

6- مراجع:

[1]Yilmaz and P. Krein, “Review of battery charger topologies, charging power levels, infrastructure for plugin electric and hybrid vehicles,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 28, No. 5, pp. 2151–2169, 2013

www.SID.ir

[2] D. Rand, R. Woods, and R. Dell, Batteries for Electric Vehicles, Research Studies Press Ltd., Taunton, England, 1998.

[3] Serkan Dusmez, Alireza Khaligh, “A Compact and Integrated Multifunctional Power Electronic Interface for Plug-in Electric Vehicles," Power Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 28, No. 12, December 2013.

[4] C. Jian and E. Ali, "A New Battery/UltraCapacitor Hybrid Energy Storage System for Electric, Hybrid, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles," IEEE, vol. 27, no. 1, pp. 1-3, 2011.

[5] A. Ostadi, M. Kazerani and S.-K. Chen, "Hybrid Energy Storage System (HESS) in Vehicular Applications: A Review on Interfacing Battery and Ultra-capacitor Units," IEEE, pp. 1-5, 2013.

[6] A. D. Napoli, F. Crescimbini, F. G. Capponi and L. Solero, "Control strategy for multiple input dc–dc power converters devoted to hybrid vehicle propulsion systems," IEEE, pp. 1036-1041, may 2002.

[7] R. Dougal, L. Gao, S. Liu, “Ultracapacitor model with automatic order selection and capacity scaling for dynamic system simulation,” Journal of Power Sources, Vol. 126, pp. 250-257, 2003.

Archive of SID

www.SID.ir