

بهینه سازی فرایند شارژ باتری های واحد ذخیره انرژی شرکت مخابرات شاهرود

امیر غلامی^۱، احمد دارابی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد برق قدرت، دانشگاه آزاد اسلامی دامغان، Amir_gholami174@yahoo.com

^۲ دانشکده برق، دانشگاه شاهرود، darabi_ahmad@hotmail.com

چکیده - معمولاً شرکت های مخابرات برای جلوگیری از قطعی آنتن دهی موبایل ها ناشی از قطعی برق هم از واحدهای برق اضطراری مانند دیزل ژنراتورها و هم از واحدهای ذخیره انرژی استفاده می کنند. واحدهای ذخیره انرژی که از یک بانک باتری سرب اسیدی تشکیل می شوند همانند یک واحد UPS بزرگ عمل می کنند و بلا فاصله بعد از قطع شدن برق وارد مدار شده و از قطع شدن سیستم مخابرات جلوگیری می کنند. دیزل ژنراتورها با توجه به توان پایین تر برای استفاده مستقیم مناسب نمی باشد و برای شارژ باتری ها در صورت طولانی شدن مدت زمان قطعی استفاده می گردند. البته ممکن است برخی شرکت های مخابراتی از چندین واحد دیزل ژنراتور برای تامین انرژی استفاده کنند

کلید واژه- ذخیره سازهای انرژی، سیستم های مخابراتی، باتری، شرکت مخابرات شاهرود

۱-۱- باتری ها

باتری می تواند انرژی مورد نیاز را برای دستگاه ذخیره کند تا بتوان از دستگاه بدون نیاز به اتصال به برق استفاده کرد. باتری یک قطعه شیمیایی است که انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. سلول گالوانیکی سلول یک قطعه بسیار ساده است که از دو الکترود (آند و کاتد) و یک محلول الکترولیت تشکیل شده است. باتری ها از تعدادی سلول های گالوانیکی تشکیل می شوند. باتری بوسیله تغییرات شیمیایی انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. در باتری های قابل شارژ این فرایند می تواند چندین بار تکرار شود. معمولاً راندمان باتری ۱۰۰ درصد نیست، یعنی مقداری از انرژی باتری در اثر گرما و فعالیت های شیمیایی که در زمان شارژ و تخلیه شارژ انجام می دهد هدر می رود. به عنوان مثال اگر یک باتری در پروسه دشارژ ۱۰۰۰ وات انرژی آزاد شود، برای پروسه شارژ ممکن است تا ۱۲۰۰ وات انرژی نیاز باشد [۱].

۱- مقدمه

باتری می تواند انرژی مورد نیاز را برای دستگاه ذخیره کند تا بتوان از دستگاه بدون نیاز به اتصال به برق استفاده کرد. باتری یک قطعه شیمیایی است که انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. سلول گالوانیکی سلول یک قطعه بسیار ساده است که از دو الکترود (آند و کاتد) و یک محلول الکترولیت تشکیل شده است. باتری ها از تعدادی سلول های گالوانیکی تشکیل می شوند. باتری بوسیله تغییرات شیمیایی انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. در باتری های قابل شارژ این فرایند می تواند چندین بار تکرار شود. معمولاً راندمان باتری ۱۰۰ درصد نیست، یعنی مقداری از انرژی باتری در اثر گرما و فعالیت های شیمیایی که در زمان شارژ و تخلیه شارژ انجام می دهد هدر می رود. به عنوان مثال اگر یک باتری در پروسه دشارژ ۱۰۰۰ وات انرژی آزاد شود، برای پروسه شارژ ممکن است تا ۱۲۰۰ وات انرژی نیاز باشد.

۲-۱- نحوه عملکرد باتری‌ها

و ولتاژ در شارژرها بیشتر از یکسوکننده‌های سیلیکونی کنترل شونده (SCR) استفاده می‌شود. در عمل هر شارژر با اجزاء منحصر به فرد برای یک محدوده جریان و ولتاژ مشخص کار می‌کند که این اجزاء، تعیین کننده دقت، نوع و قیمت شارژر می‌باشند. امروزه همه شارژرهای صنعتی و تجاری، برای یک سایز باتری و ظرفیت مخصوص ساخته می‌شوند. برخی از شارژرها دارای چندین حالت مختلف شارژ می‌باشند. همچنین این یک امر طبیعی است که شارژر متناسب با باتری‌هایی که می‌خواهند شارژ شوند انتخاب شود.

۳-۱- انواع شارژر باتری

یک شارژر کاملاً استاندارد که بصورت عملی و طبق مشخصات تولید کنندگان باتری‌های باید ساخته شود بدین گونه می‌باشد. این شارژر می‌بایست باتری را تا ۱۰ درصد ظرفیت حقیقی باتری شارژ نماید. این سیستم شارژ در حالت استاندارد زمانی حدود ۱۰ ساعت (برای باتری ۲۰۰۰ میلی آمپر) و در حالت شارژ سریع زمانی حدود ۵ ساعت (برای باتری ۲۰۰۰ میلی آمپر) اختصاص می‌دهد (قابل توجه برای شارژر نوع سوم که ۶۰ دقیقه را مد نظر دارد) و همچنین این شارژر طول عمر باتری را به همان مقدار تعریف شده کارخانه‌های تولید کننده که حدود ۱۰۰۰ بار شارژ می‌باشد رعایت می‌نماید [۳].

۴- شبیه سازی و مدلسازی

باتری‌های واحد ذخیره انرژی شرکت مخابرات شاهرود نیز از نوع باتری‌های سربی اسیدی می‌باشد. مشخصات باتریخانه این شرکت متشکل از دو رشته موازی شده با هم است که هر رشته شامل ۲۴ باتری ۲ ولتی و ۲۵۰۰ آمپر ساعت می‌باشد که مجموعاً این دو رشته یک بانک باتری ۴۸ ولت و ۵۰۰۰ آمپرساعت را تشکیل می‌دهند. برای مدلسازی بانک باتری تحت مطالعه از مدل ساده شده شکل ۱ استفاده می‌شود. در این مدل که متشکل از یک منبع ولتاژ سری شده با یک مقاومت است اثر SOC در هر دو المان لحاظ گردیده است و هم دامنه منبع ولتاژ و هم اندازه مقاومت داخلی باتری تابعی از میزان شارژ باتری می‌باشند. در شارژر باتری‌ها توسط شارژر با توجه به آنکه ظرفیت

باتری‌های امروزی دو انتهای مثبت و منفی دارند. داخل تمام این باتری‌ها، همانند پیل ولتایی بوده و تنها از مواد مختلف و گوناگونی استفاده می‌کنند. در تمام باتری‌ها از فلزات برای الکتروود و از مواد دیگری که مشابه آب نمک هستند، برای الکتروولیت استفاده می‌شود. الکتروودها با هم در تماس مستقیم نبوده و تنها تماس آن‌ها از طریق الکتروولیت صورت می‌گیرد. وقتی یک سیم به قطب‌های مثبت و منفی باتری وصل می‌شود جریان الکتریسته از قطب منفی به سمت قطب مثبت سیم به حرکت در می‌آید. حرکت جریان درون سیم، در واقع حرکت الکترون‌های داخل آن است که می‌تواند وسایل الکتریکی را به کار بیندازد. پتانسیل الکتریکی ایجاد شده بین دو سر مثبت و منفی باتری، ولتاژ باتری نامیده شده و با واحد ولت سنجیده می‌شود. میزان این پتانسیل یا نیروی محرکه به نوع واکنش صورت گرفته درون باتری بستگی داشته و مواد مختلف پتانسیل‌های گوناگونی را تولید می‌کنند [۲].

۲- مدل باتری

باتری‌های سربی اسیدی معمولاً با استفاده مشخصات رفتاری که توسط شرکت‌های سازنده باتری در اختیار قرار می‌گیرند مدل می‌شوند. این مدل‌ها معمولاً بر اساس روابط ریاضی هستند که معمولاً بر پایه اصول ذیل بیان می‌شوند. ظرفیت باتری تابعی از جریان دشارژ است که به این، اثر پوکرت گفته می‌شود. ضرایب بسیاری برای تنظیم پارامترهای مدل باید در آن‌ها اثر داده شود. ولتاژ دشارژ باتری تابعی SOC است. مقاومت داخلی باتری نیز تابعی از SOC است. معمولاً اطلاعات باتری‌ها توسط سازندگان داده می‌شود [۲].

۳- شارژرها

شارژر یک دستگاه الکترونیکی است که جریان و ولتاژ AC را به جریان و ولتاژ DC مورد نیاز باتری تبدیل می‌نماید. در واقع شارژر یک مبدل AC به DC است که وظیفه آن، ایجاد ولتاژ و جریان مطلوب برای شارژر باتری است. برای کنترل جریان

با توجه به روابط ۲ تا ۵ و منحنی های شارژ و دشارژ باتری های تحت مطالعه، ثابت های E_0 ، K ، A و B برای بانک باتری باید استخراج گردد. برای تخمین پارامترهای باتری های مورد نظر از نرم افزار *matlab* استفاده شده است و پارامترهای بدست آمده در جدول ۱ نمایش داده شده است..

در واقع منحنی های شارژ و دشارژ باتری نشان دهنده وابستگی ولتاژ باتری به SOC آن می‌باشد. مطابق با شکل ۲ و مدل ارائه شده در معادلات مربوط به بار باتری q ، جریان باتری I_{batt} ، درصد شارژ باتری SOC ، ولتاژ داخلی E_{in} و ولتاژ ترمینال V_{batt} را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$I_{batt} = \frac{dq}{dt} \quad (2)$$

$$SOC = 100 \frac{q}{Q} \quad (3)$$

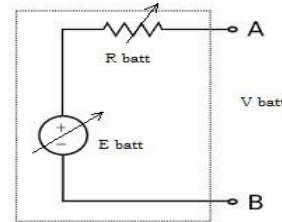
$$E_{in} = E_0 - K \left(\frac{Q}{Q-q} \right) + Ae^{-Bq} \quad (4)$$

$$V_{batt} = E_{in} - R_{batt} I_{batt} \quad (5)$$

که در آن پارامترهای E_0 ، K ، A و B مقادیر ثابت وابسته به نوع باتری‌های سربی اسیدی انتخابی می‌باشند. ظرفیت بانک باتری Q است که با توجه به پارامترهایی همچون جریان شارژ و دشارژ، عمر باتری و شرایط محیطی ممکن است اندکی با ظرفیت نامی باتری C متفاوت باشد. در مدلسازی با توجه به نادیده گرفتن اثر دما و پوکرت، $Q=C$ می‌باشد [۵].

انتگرال جریان، معرف میزان بار باتری است. در واقع انتگرال جریان شارژ، میزان بار ذخیره شده در باتری و انتگرال جریان دشارژ، میزان بار تخلیه شده باتری را نشان می‌دهد. میزان بار باتری همواره بین مقدار عددی حد پایین صفر و حد بالای ظرفیت باتری ($0 \leq q \leq Q$) می‌باشد.

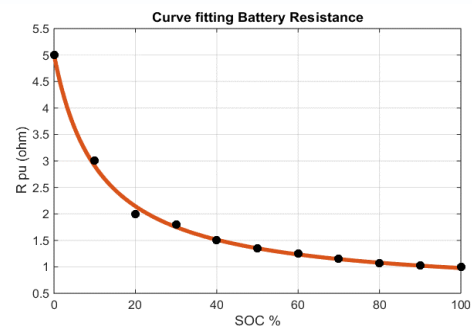
شارژر متناسب با ظرفیت بانک باتری انتخاب می‌شود (و نه خیلی بزرگتر از آن) می‌توان از اثر پوکرت (تغییر ظرفیت باتری‌های سربی اسیدی ناشی از شارژ با جریان‌هایی بیشتر از جریان نامی) صرف نظر کرد و ظرفیت بانک باتری را ثابت فرض نمود [۴].



شکل ۱. مدل باتری سربی اسیدی پیشنهادی

مقاومت داخلی باتری بر اساس منحنی مقاومت داخلی و یا آزمایش بر اساس فرمول (۱) بدست می‌آید. این اطلاعات توسط سازندگان باتری نیز مشخص می‌شود. به عنوان مثال مقاومت داخلی یک باتری ۲ ولتی تحت مطالعه، در حالت شارژ تقریباً ۶ میلی اهم و در حالت کاملاً دشارژ ۳۰ میلی اهم می‌باشد. در حالت کلی مقاومت داخلی باتری سرب اسیدی تابعی از مقدار شارژ باتری می‌باشد. در شکل ۲ تغییرات ظرفیت بر حسب مقاومت با نقاط مشکی مشخص شده اند. توسط نرم افزار متلب با استفاده از ابزار *curve fitting* نقاط مشخص شده توسط یک تابع کسری فیت شده اند که بهترین فیت شدن با کمترین خطا برای تابع زیر به دست آمده است.

$$R_{bat}(soc) = \frac{0.5208SOC + 56.82}{SOC + 11.34} \quad (1)$$



شکل ۲. نقاط واقعی و منحنی فیت شده برای باتری

جدول ۲. مشخصات بانک باتری تحت مطالعه

48 V	ولتاژ نامی بانک باتری
500 A	جریان نامی شارژر بانک باتری
5000 AH	ظرفیت نامی
0.3 mΩ	مقاومت داخلی باتری در حالت کاملاً شارژ
20 mΩ	مقاومت کابل ها و بست ها
53.4 V	ولتاژ اعمالی برای شارژر
1000 A	ماکزیمم جریان مجاز برای شارژر
50 A	مینیمم جریان شارژر (قطع شارژر)

همانگونه که گفته شد در مرکز مخابرات شاهرود، از روش ساده ولتاژ ثابت برای شارژر باتری ها استفاده می شود. در این روش یک ولتاژ ثابت ۵۳/۴ ولتی به دو سر بانک باتری اعمال می شود و باتری ها شارژ می شوند. در روش شارژر ولتاژ ثابت، جریان کشیده شده از منبع به صورت نمایی کم می شود که باعث طولانی شدن پروسه شارژر می شود. همچنین در شروع پروسه شارژر جریان بسیار زیادی ممکن است کشیده شود. معمولاً عبور این جریان زیاد هنگامی رخ می دهد که باتری ها به میزان قابل توجهی از دشارژر شده باشند. در شرکت مخابرات شاهرود، برای جلوگیری از این امر، معمولاً باتری ها بیشتر از ۶۰ درصد اجازه دشارژر ندارند. زیرا دشارژر بیش از این حد، سبب افت ولتاژر بیش از حد باتری می شود (افت ولتاژی که برای بار مجاز است) که در هنگام شارژر به علت زیاد شدن اختلاف ولتاژر بین منبع و باتری، باعث کشیده شدن جریان زیاد و آسیب رسیدن به باتری ها می شود. پروسه شارژر باتری ها در شرکت مخابرات معمولاً یک شبانه روز به طول می انجامد که از نظر استانداردهای موجود، بسیار طولانی است. استانداردها معمولاً مدت زمان بین ۴ تا ۱۰ ساعت را مناسب برای شارژر می دانند. همانگونه که مشخص است مدت زمان طولانی

جدول ۱ پارامترهای تخمین زده شده برای باتری تحت مطالعه

پارامترهای مربوط به یک باتری ۲ ولتی	پارامترهای مربوط به بانک باتری (۲۴ باتری ۲ ولتی)
$E_0 = 2.1289$	$E_0 = 52.4103$
$R = 3e-05\Omega$	$R = 0.0003\Omega$
$K = 4.444e-06$	$K = 0.00012$
$A = 0.14607$	$A = 1.8897$
$B = 0.3$	$B = 0.15$
$Q = 2500 \text{ AH}$	$Q = 5000 \text{ AH}$

۵- نتایج شبیه سازی

در شرکت مخابرات شاهرود، ابتدا ولتاژ توسط ترانسفورماتور از ۲۲۰ ولت به ۷۲ ولت کاهش می یابد و سپس توسط یک پل تریستوری ولتاژ ۷۲ ولت متناوب به ولتاژ مستقیم ۵۳/۴ تبدیل می شود. ظرفیت جریانی کل سیستم مرکز مخابرات شاهرود، ۱۶۰۰ آمپر است که معمولاً ۵۳۰ تا ۶۰۰ آمپر آن به عنوان بار در حال مصرف می باشد و ظرفیتی در حدود ۱۰۰۰ آمپر در دسترس برای شارژر باتری ها وجود دارد. با توجه به ظرفیت بانک باتری که ۵۰۰۰ آمپر ساعت است تقریباً سیستم ذخیره ساز ۵ الی ۶ ساعت قادر به تغذیه بار در حالت قطعی برق می باشد. در شرکت مخابرات شاهرود، برای جلوگیری از دشارژر خود به خود باتری ها، مجموعه بانک باتری همواره به صورت متناوب شارژر می شود که این روش شارژر به صورت ولتاژ ثابت و با ولتاژ ۵۴/۷ ولت می باشد. این سیستم شارژر شناور نیز از این پس همواره برای بعد از حالت شارژر کامل باتری ها لحاظ خواهد گردید [۶].

با توجه به ساختار قدیمی و بسیار ساده شارژرهای مرکز مخابرات شاهرود، در این مقاله سعی بر آن است تا با یک شبیه سازی دقیق و واقعی، بهترین روش شارژر برای واحد ذخیره ساز مشخص گردد. مشخصات بانک باتری شرکت مخابرات در جدول ۲ نشان داده شده است [۷].

ثانیه (تقریباً ۲۱/۵ ساعت) طول می کشد که مدت زمان قابل توجهی می باشد. با توجه به طولانی شدن پروسه شارژ در حالت واقعی که در زمان های بحرانی می تواند امری مهم تلقی گردد می توان چندین سناریو را برای بهینه کردن پروسه شارژ باتری های شرکت مخابرات ارائه نمود. در این پایان نامه سه سناریو برای بهینه شدن فرایند شارژ در نظر گرفته شده است [۹] که به صورت زیر می باشد:

سناریو ۱: ارزان بودن شارژر: در این سناریو هدف اصلی این است که فقط قیمت شارژر کم باشد و نسبت به حالت واقعی زمان شارژ بهبود یابد.

سناریو ۲: کوتاه شدن پروسه شارژ: در این سناریو هدف اصلی کوتاه شدن زمان شارژ است. در واقع می توان گفت این سناریو برای زمان های بحرانی که در مدت زمان کوتاه تر باتری ها باید شارژ شوند مناسب است.

سناریو ۳: کوتاه شدن پروسه شارژ و افزایش عمر باتری: در این سناریو علاوه بر کوتاه شدن پروسه شارژ، هدف افزایش عمر و جلوگیری از صدمه دیدن باتری ها می باشد. سناریو ۱ و ۲ ممکن است به ترتیب در شروع و پایان پروسه شارژ سبب آسیب رساندن به باتری ها شوند که در سناریو ۳ هدف حذف این آسیب پذیری است.

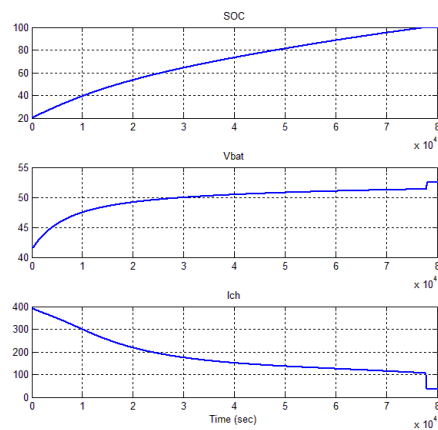
توجه شود که در هر سه سناریو همه اهداف کوتاه شدن زمان شارژ، کم هزینه بودن شارژر و نگهداری و افزایش عمر باتری مد نظر خواهد بود اما هدف اصلی برای هر سناریو در بالا ذکر گردید.

۶- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله واحد ذخیره انرژی شرکت مخابرات شاهرود تحت مطالعه و شبیه سازی قرار گرفت. سه سناریو با هدف های غالب هزینه کمتر، زمان شارژ کوتاه تر و ترکیبی از اهداف آسیب نرسیدن به باتری و کوتاه شدن زمان شارژ در نظر گرفته شد و برای هر سناریو چهار پیشنهاد ارائه گردید. با توجه به مقایسه نتایج به دست آمده از جدول های ۵-۱ تا ۵-۳ می توان بهترین

شارژ و جریان زیاد کشیده شده در لحظه شروع، که باعث کاهش عمر مفید باتری ها می شود نشان از نامطلوب بودن پروسه شارژ در این شرکت دارد [۸].

در این مقاله روش های بهتری برای شارژ بانک باتری شرکت مخابرات شاهرود ارائه می گردد تا هم مدت زمان شارژ کوتاه گردد و هم از آسیب رسیدن به باتری ها جلوگیری به عمل آید. در شرکت مخابرات شاهرود، باتری ها با ولتاژ ثابت ۵۳/۴ ولت بعد از یک فرایند دشارژ، شارژ می شوند که بسته به عمق دشارژ، جریان در لحظه شروع مقداری بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ آمپر دارد که با شروع شارژ، رفته رفته کم و کمتر می شود. دقت شود که نامی باتری ها ۵۰۰ آمپر است جریان و جریان بیش از این مقدار، کاهش عمر مفید باتری ها می شود. معمولاً پروسه شارژ با توجه به بزرگ بودن ظرفیت باتری ها و کم شدن میزان جریان طولانی می شود و بعضاً تا یک شبانه روز به طول می انجامد. شکل زیر نیز شارژ واقعی را با عمق شارژ ۸۰ درصد نشان می دهد.



شکل ۳. فرایند شارژ واقعی با ولتاژ ثابت

در شکل فوق منحنی اول، وضعیت شارژ باتری، منحنی دوم ولتاژ داخلی باتری و منحنی سوم جریان کشیده شده توسط باتری است. همانگونه که در شکل ۳ دیده می شود در عمق دشارژ ۸۰ درصد، ولتاژ بانک باتری به ۴۲ ولت رسیده است. البته همانگونه که قبلاً ذکر شد بانک باتری معمولاً بیشتر از ۶۰ درصد دشارژ نمی شود که در آن صورت ولتاژ ۴۷/۵ ولت خواهد بود. در شکل ۳ کاملاً مشهود است که در لحظه شروع پروسه شارژ جریان ۴۰۰ آمپر است و مدت زمان شارژ کامل تقریباً ۷۸۰۰۰

[7] <http://www.iramozesh.com/info/44-electronic/130-batrey.html>

[8] Zhang, Jiucui, et al. "An enhanced circuit-based model for single-cell battery." Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE. IEEE, 2010.

[9] <http://www.zoomit.ir/articles/etc/12074-how-does-lithium-ion-battery-work-popular-compare>

[10] Martínez, Javier Solano, et al. "Practical control structure and energy management of a testbed hybrid electric vehicle." Vehicular Technology, IEEE Transactions on 60.9 (2011): 4139-4152.

[11] Smith, Kandler A., Christopher D. Rahn, and Chao-Yang Wang. "Control oriented 1D electrochemical model of lithium ion battery." Energy Conversion and Management 48.9 (2007): 2565-2578

روش‌های شارژ باتری‌های شرکت مخابرات شاهرود را به صورت زیر بیان کرد:

در صورت عدم هزینه اضافی برای شارژها با توجه به سناریوی ۱ و آزاد بودن ظرفیت جریانی شارژر، پیشنهاد می‌شود که ولتاژ خروجی شارژر در محدوده چند ولت (نهایتاً ۶ ولت) بیشتر گردد تا پروسه شارژ کوتاه‌تر شود. به عنوان مثال با زیاد شدن ولتاژ خروجی شارژر از ۵۴ ولت به ۵۷ ولت، بدون آسیب رسیدن به باتری‌ها و شارژر، مدت زمان پروسه شارژ یک سوم کاهش پیدا می‌کند. در صورت صرف هزینه و خرید شارژرهای جدید برای باتری‌ها پیشنهاد می‌شود در صورت شارژ اضطراری و سریع، نهایتاً باتری‌ها با جریان ۷۵۰ آمپر شارژ شوند تا از آسیب رسیدن جدی به آنها جلوگیری شود و در نهایت در حالت عادی بهترین گزینه شارژ، شارژ ترکیبی جریان ثابت - ولتاژ ثابت با جریان نامی ۵۰۰ آمپر به میزان تقریباً ۹۵ درصد شارژ با جریان ثابت است. البته ناگفته نماند که مقادیر گفته شده به صورت تقریبی و سلیقه‌ای می‌باشد و چند درصد کم یا زیاد شدن مقادیر می‌تواند مجاز تلقی گردد [۱۰ و ۱۱].

۷- منابع

[1] <http://donyapc.persianblog.ir/post/82>

[2] Zhang, Jiucui, et al. "Modeling discharge behavior of multicell battery." Energy Conversion, IEEE transactions on 25.4 (2010): 1133-1141

[3] Bullock, Kathryn R. "Lead/acid batteries." Journal of power sources 51.1 (1994): 1-17.

[4] Doerffel, Dennis, and Suleiman Abu Sharkh. "A critical review of using the Peukert equation for determining the remaining capacity of lead-acid and lithium-ion batteries." Journal of Power Sources 155.2 (2006): 395-400.

[5] Hua, Chih-Chiang, and Meng-Yu Lin. "A study of charging control of lead-acid battery for electric vehicles." Industrial Electronics, 2000. ISIE 2000. Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on. Vol. 1. IEEE, 2000.

[6] Cherng, Jing-Yih, and James K. Klang. "Method and apparatus for charging a lead-acid battery." U.S. Patent No. 5,656,920. 12 Aug. 1997.