Archive of SID

بهبود روش شارژ سریع با استفاده از الگوریتم ژنتیک و ایجاد هماهنگی بین شارژرها در ایستگاه شارژ سریع خودروهای برقی به منظور استفاده بهینه از ظرفیت برق ایستگاه

امیربهادر امیری[۱] محسن قاینی[۲]

۱- کارشناسی ارشد برق قدرت، دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی سجاد-مشهد- ایران
a.b.amiri89@gmail.com

۲- استادیار، دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی سجاد - مشهد - ایران
m_ghayeni@sadjad.ac.ir

چکیده: **احداث ایستگاههای شارژ سریع یکی از موضوعات مهم در شبکه‌های هوشمند با نفوذ بالای خودروهای برقی است. همچنین یکی از مباحث مهم در شارژرهای سریع، انتخاب روش مناسب برای شارژ است. در این مقاله با تعریف یک مساله بهینه سازی با هدف کاهش زمان شارژ، سطوح بهینه شارژ با روش جریان چند پله‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک بدست آمده است. یکی دیگر از پارامترهای مهم در طراحی ایستگاه، تعیین تعداد واحدهای شارژ جهت استفاده حداکثری از ظرفیت برق ورودی است. در این مقاله برای اولین بار موضوع هماهنگی شارژرها به منظور حداکثر کردن تعداد واحدهای شارژ به ازای یک ظرفیت برق معین و در نتیجه کاهش زمان شارژ خودروها پیشنهاد شده است. با توجه به تغییر سطح جریان شارژ در طول زمان شارژ (کاهش پله‌ای)، در این مقاله پیشنهاد شده است که می‌توان با ظرفیت برق کمتری شارژرها را برای کار هماهنگ کرد یا در همان ظرفیت آمپر ایستگاه، تعداد واحدهای شارژ می‌تواند افزایش یابد تا زمان شارژ خودروها کاهش داده شود. در این شرایط شارژرها نمی‌توانند همزمان شروع به کار کنند و مسأله هماهنگی بین شارژرها جهت ایجاد اختلاف زمانی و تعیین زمان شروع به کار هر واحد مطرح می‌شود. نتایج شبیه‌سازی انجام شده در محیط نرم‌افزار مطلب نشان می‌دهد که با تعریف مسأله هماهنگی بین شارژرها، به ازای یک ظرفیت آمپر مشخص برای ایستگاه تعداد واحدهای شارژ قابل افزایش بوده و زمان انتظار و شارژ خودروها در ایستگاه کاهش می‌یابد. همچنین درصورتیکه تعداد واحد شارژ ثابت در نظر گرفته شود، با ظرفیت برق ورودی کمتری آمپر مورد نیاز شارژرها تامین می‌گردد.**

کلمات کلیدی: **خودروی الکتریکی، ایستگاه شارژ سریع، جریان ثابت چند پله ای،واحد شارژ، هماهنگی شارژرها**

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۱۳

نام نویسنده‌ی مسئول: محسن قاینی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – مشهد– بلوار جلال آل احمد–جلال آل احمد ۶۴– دانشگاه صنعتی سجاد–معاونت آموزشی دانشگاه

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

خودروهای برقی به سرعت در حال رشد و جایگزینی در صنعت حمل و نقل هستند. مهمترین مزیت این خودروها کاهش آلودگی محیط زیست و کاهش سر و صدا است. یکی از مهمترین مسائل درخصوص خودروهای برقی موضوع شارژ آنهاست. در این خصوص اولین دیدگاه، شارژ خانگی است که نیازمند زمان طولانی برای شارژ است. همچنین با توجه به رفتار غیر خطی، فرایند شارژ می‌تواند تأثیرات منفی بر ولتاژ و کیفیت توان شبکه توزیع بگذارد[۳-۱]. از طرف دیگر به عنوان یک بار با رفتار تصادفی برای شبکه توزیع مطرح می‌گردد. لذا به منظور سرعت بخشیدن به فرایند شارژ و کنترل متمرکز این بار در شبکه ضرورت دارد که ایستگاههای شارژ سریع خودروی برقی احداث گردد. ایستگاههای شارژ سریع یکی از مصرف‌کنندگان بزرگ در شبکه توزیع به شمار می‌روند که با کنترل و نظارت بر آن در قالب ساختار شبکه هوشمند می‌توان تأثیرات منفی شارژ خودروها را به تأثیرات مثبت بر شبکه تبدیل نمود[۶-۴].

در احداث و طراحی ایستگاههای شارژ سریع در یک شبکه برق موضوعات متعددی مانند مکان‌یابی ایستگاه، مدیریت تأمین انرژی و طراحی ساختار داخلی مطرح می‌شود. مکان‌یابی ایستگاه می‌تواند براساس پارامترهای مهمی مانند تراکم خودروها، هزینه‌های سرمایه-گذاری و بهره‌برداری،شرایط شبکه توزیع و فوق توزیع انجام شود[۹-۷].مدیریت و منابع تأمین انرژی ایستگاه نیز از مباحث مهم در زمینه طراحی ایستگاههای شارژ سریع است. از جمله مطالعات می توان به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشید[۱۱-۱۰]و استفاده از بانک باتری و سوپر خازن جهت ذخیره‌سازی و کنترل خرید و فروش انرژی از شبکه اشاره کرد[۱۴-۱۲]. توپولوژی ایستگاه، انواع ساختارهای الکتریکی جهت طراحی شبکه داخلی ایستگاه و نحوه مدلسازی مداری این شبکه از دیگر مطالعات انجام شده است[۱۷-۱۵].انتخاب روش شارژ سریع مناسب از نکات مهم در طراحی شارژرهای ایستگاه است. روش جریان ثابت – ولتاژ ثابت یکی از روشهای رایج مورد استفاده در شارژرها بوده است. در این روش باتری ابتدا با جریان ثابت بالا شارژ شده و با رسیدن ولتاژ باتری به مقدار بیشینه خود ادامه فرایند شارژ بصورت ولتاژ ثابت انجام می‌شود[۱۸]. بیشترین زمان شارژ مربوط به بخش ولتاژ ثابت است که به منظور کاهش زمان شارژ، روش جریان ثابت چند پله‌ای مطرح گردید. در این روش در طول فرایند شارژ جریان بصورت پله‌ای کاهش می‌یابد تا ولتاژ باتری از مقدار بیشینه خود کمتر باشد. برای تعیین عرض پالس‌ها و سطح جریان مناسب از روش‌های هوشمند مختلفی برای بهینه‌سازی استفاده شده است[۲۱-۱۹]. از دیگر روشهای شارژ سریع می‌توان به روش پالس جریان و بازتاب اشاره کرد[۲۲].

راهبری زمان حقیقی خودروها با استفاده از نظریه بازی براساس شرایط ترافیکی، وضعیت شبکه تامین برق و تراکم خودروها در ایستگاهها جهت بهره‌برداری بهینه از ایستگاههای شارژ سریع در مرجع[۲۳]مطالعه شده است. یکی از نکات مهم تاثیر گذار در افزایش سود مالک ایستگاه و کاهش زمان انتظار خودروها، نحوه قیمت‌گذاری شارژ است. در مرجع[۲۴]سیاست قیمت‌گذاری مبتنی بر زمان پیشنهاد شده است که در مقایسه با قیمت‌گذاری ثابت باعث توزیع یکنواخت‌تر خودروها در ساعات شبانه‌روز شده است. این موضوع افزایش سود برای مالک ایستگاه و کاهش زمان انتظار برای راننده‌ها را بدنبال داشته است. به دلیل مقاومت داخلی باتریها در مقادیر بالای حالت شارژ باتری(SOC^{1}) قدرت شارژ به سرعت کاهش می‌یابد. در مرجع[۲۵] پیشنهاد محدود کردن سطوح درخواستی حالت شارژ داده شده است و الگوریتمی جهت تعیین مقدار بهینه آن ارائه شده است.

از دیگر موضوعات مهم در طراحی ایستگاه تعیین تعداد واحد شارژر و براساس آن تعیین ظرفیت برق ورودی ایستگاه است. هزینه امتیاز برق بصورت تصاعدی به ظرفیت آمپر خریداری شده برای ایستگاه بستگی دارد، لذا بایستی طراحی ایستگاه طوری انجام شود که از ظرفیت آمپر ورودی حداکثر استفاده برده شود. اگر تعداد واحد شارژ از تقسیم ظرفیت آمپر ایستگاه بر بالاترین پله جریان در شارژرها بدست آید، شارژرها می‌توانند همزمان باهم کار کنند ولی نیازمند تامین جریان بزرگی برای ایستگاه خواهد بود. در این شرایط باتوجه به اینکه جریان شارژ بصورت پله‌ای کاهش می‌یابد در ساعت‌های زیادی مصرف جریان ایستگاه بسیار پائین‌تر از ظرفیت بوده و از امتیاز برق خریداری شده با هزینه بالا بطور کامل استفاده نمی‌گردد و لذا این طرح اقتصادی نیست.

در این مقاله ابتدا با تعریف یک مساله بهینه‌سازی در جهت کاهش زمان شارژ، سطوح بهینه شارژ در روش جریان چند پله‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک بدست آمده است. در ادامه مقاله الگوریتمی جهت انتخاب تعداد مناسب واحد شارژ در یک ایستگاه شارژ سریع متناسب با ظرفیت برق ورودی پیشنهاد شده است. در این الگوریتم مساله اصلی این است که تمام شارژرها نمی‌توانند همزمان در پله حداکثر شارژ خود باشند و لذا با تعریف مسأله هماهنگی بین شارژرها بایستی زمان شروع به کار هر شارژر تعیین گردد. البته پس از گذشت مدت زمانی با توجه به یکی نبودن سطح جریان شارژ واحدها، زمان انتظار برای شروع به کار شدیدا کاهش می‌یابد. این موضوع برای اولین بار توسط این مقاله مطرح می‌گردد.

در راستای دستیابی به اهداف مقاله، در بخش دوم روش‌های شارژ سریع مختصر توضیح داده شده‌اند و روش پیشنهادی جهت تعیین پله-های جریان به منظور کاهش زمان شارژ با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. در بخش سوم کلیات الگوریتم پیشنهادی در جهت تعیین تعداد شارژرها و دلیل تعریف مساله هماهنگی شارژرها مطرح شده است. فرمول‌بندی و جزئیات الگوریتم پیشنهادی مسأله هماهنگی شارژرها در بخش چهارم بیان شده است، در بخش پنجم نتایج

www.SID.ir

Archive of SID

عددیشبیه‌سازی‌های انجام شده گزارش شده است و بخش ششم مقاله به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲- روش‌های شارژ سریع

در ایستگاه‌های شارژ سریع خودرو از روش‌های شارژ با جریان بالا و سرعت بالا استفاده می‌شود. بهبود روش شارژ باعث می‌شود که تعداد خودروی بیشتری در زمان مشخص شارژ شوند و سود بیشتری به مالک ایستگاه تعلق گیرد و مالک خودرو نیز زمان کمتری را صرف شارژ خودروی خودکرده باشد. اولین روش شارژ سریع، روش جریان ثابت – ولتاژ ثابت بود که مدت زمان اصلی را در مرحله ولتاژ ثابت نیاز داشت برای بهبود این روش، روش‌های پالس جریان، بازتاب و جریان ثابت چند پله‌ای مطرح شد که در ادامه توضیحات مختصری در مورد آنها داده می‌شود.

۲-۱- روش پالس جریان

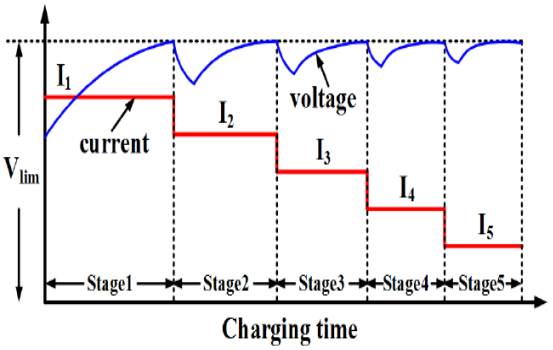
در این روش، پالس جریان به صورت متناوب به باتری اعمال می‌شود. این عمل باعث می‌شود تا برای باتری دوره استراحتی فراهم گردد. این دوره استراحت یا به عبارتی فاصله بین پالس‌ها باعث دشارژ راکتانس خازنی باتری و در نتیجه کاهش امپدانس باتری می‌شود. این امر منجر به افزایش کارایی پالس‌ها، جلوگیری از اضافه ولتاژ، جلوگیری از گرما و افزایش عمر باتری می‌گردد. برای تعیین عرض پالس‌ها و زمان استراحت می‌توان از روش‌های هوشمند استفاده کرد تا به بهترین جواب رسید.

۲-۲- روش بازتاب

این روش درواقع مدل بهبود یافته روش پالس جریان است که در آن برای دشارژ سریعتر و بهتر راکتانس خازنی باتری از پالس‌های منفی استفاده می‌شود. این روش شامل سه بخش است: پالس مثبت، پالس منفی و دوره استراحت.

۲-۳- روش جریان ثابت چند پله ای

این روش به منظور حذف بخش ولتاژ ثابت در روش جریان ثابت- ولتاژ ثابت ابداع شد که الگوی شارژ مربوط به آن در شکل(۱) نشان داده شده است.با توجه به این شکلمی‌توان مراحل شارژ را به این صورت بیان کرد که در ابتدا باتری با جریان ثابت شارژ شده تا ولتاژ آن به مقدار حداکثر خود برسد. در این لحظه سطح جریان را مقداری کاهش داده که باعث افت ولتاژ در باتری می‌شود. سپس باتری با سطح جدید جریان شارژ شده تا دوباره ولتاژ باتری به مقدار بیشینه خود برسد. این روند ادامه می‌یابد تا باتری به طور کامل شارژ شود. برای انتخاب بهینه سطح جریان و مدت زمان در هر مرحله و تعداد مراحل از روش‌های هوشمند استفاده می‌شود [۲۱-۱۹]. قابل ذکر است که روش جریان ثابت چند پله‌ای نسبت به سایر روش ها از سرعت بیشتری برخوردار بوده و از اضافه ولتاژ و حرارت باتری نیز جلوگیری می‌کند. از این رو مبنای این پژوهش استفاده از این روش و تعیین پارامترهای آن با الگوریتم ژنتیک در ایستگاه شارژ سریع می‌باشد.



شکل (۱): شارژ به روش جریان ثابت چند پله‌ای [۱۹]

۲-۴- تعیین سطوح بهینه شارژ

روش مورد استفاده در این مقاله برای ایستگاه‌های شارژ سریع، روش جریان ثابت چند پله‌ای است. در این روش مسأله مهم تعیین تعداد سطوح شارژ، سطح جریان و مدت زماندر هر مرحله است. در این مقاله یک مسأله بهینه‌سازی با تابع هدف کمینه‌سازی زمان شارژ و با قید حداکثر ولتاژ باتری و روند کاهشی سطوح جریان بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$Mint_{charge}$$
$$Subject\ to V_{bat}<V_{max} \qquad (۱)$$
$$I^{k+1}{}_{ch}<I^{k}{}_{ch} k=1, 2,\dots$$

که در آن t_{charge} زمان شارژ باتری، $I^{k}{}_{ch}$ سطح جریان شارژ در پله‌ام، V_{bat} ولتاژ لحظه‌ای دو سر باتری در هنگام شارژ و V_{max} حداکثر ولتاژ مجاز باتری است.

در این مقاله برای حل مساله بهینه سازی فوق (تعیین سطوح جریان و مدت زمان هر سطح) از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.شکل۲ فلوچارت روند شارژ باتری با استفاده از الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد. تعیین جریان پله اول به عنوان بزرگترین سطح جریان شارژ بستگی به ظرفیت باتری و ملاحظات عملی دارد. هرچه سطح این جریان بیشتر شود، سرعت شارژ باتری افزایش می‌یابد ولی افزایش بیش از حد آن نیز نیازمند افزایش سطح تحمل تجهیزات و قدرت تأمین برق ایستگاه است که منجر به افزایش هزینه می‌گردد لذا بایستی با یک موازنه مقدار مناسب آن انتخاب گردد. شکل۳ فلوچارت روند تعیین سطوح جریان را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳- تعداد واحد شارژ و کلیات روش پیشنهادی

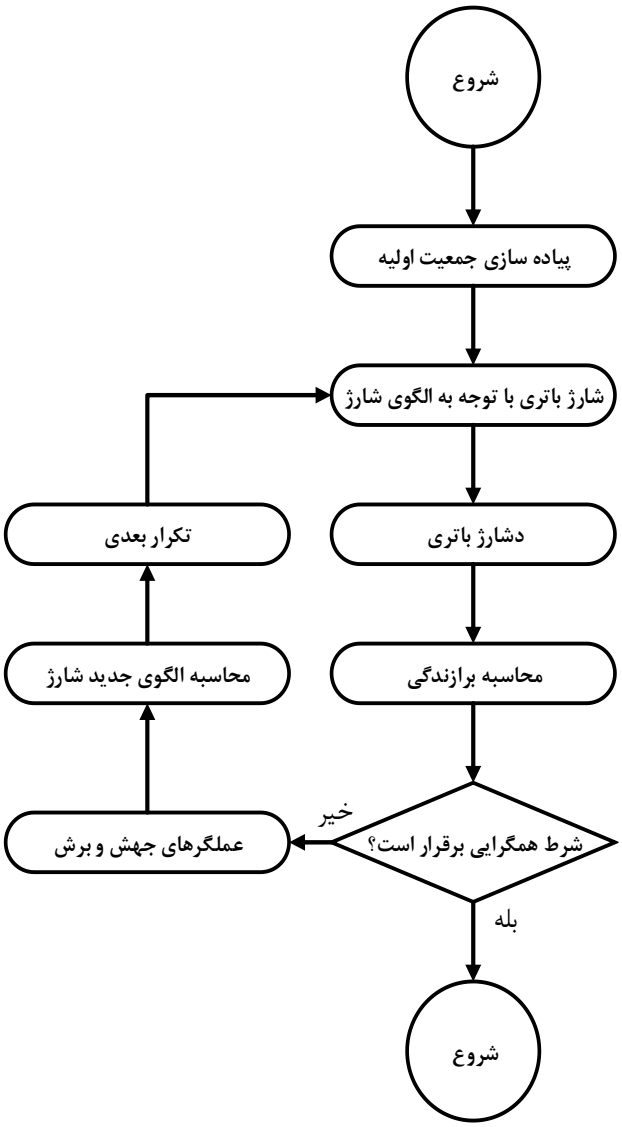
مساله تعیین تعداد شارژرها در ایستگاههای شارژ سریع یک موضوع در فرایند برنامه‌ریزی ایستگاه است که به پارامترهای متعددی مانند وضعیت تراکم خودروها در منطقه مورد مطالعه، وضعیت شبکه توزیع فشار متوسط در منطقه، وضعیت قیمت و موجود بودن زمین مورد نیاز برای احداث، مطالعه ترافیکی نقاط مختلف منطقه بستگی دارد. دلیل مطرح شدن تعیین تعداد واحد شارژ در این مقاله موضوعیت دیگری دارد که در ادامه اشاره می‌شود. افزایش تعداد واحدهای شارژ در یک ایستگاه منجر به شارژ تعداد خودروهای بیشتری در یک زمان معین می‌شود که این موضوع برای مالک ایستگاه افزایش سود و برای مالکان خودرو کاهش زمان شارژ را بدنبال دارد. لذا با فرض وجود خودروی کافی برای شارژ، تعیین تعداد مناسب واحد شارژ تأثیر زیادی در سود مالک ایستگاه می‌تواند داشته باشد. یکی از اهداف اصلی این مقاله استفاده بهینه از ظرفیت برق ایستگاه است. چراکه می دانیم هزینه امتیاز برق وابستگی شدید و بصورت تصاعدی به میزان آمپر مصرفی دارد. در واقع در این مقاله پیشنهاد شده است که با توجه به کاهش پله‌ای جریان هر شارژر می‌توان با هماهنگی شارژرها برای یک تعداد مشخص شارژر، ظرفیت برق ورودی ایستگاه را کمتر گرفت و یا برای یک ظرفیت برق ورودی مشخص، تعداد شارژرها را جهت استفاده کامل‌تر از ظرفیت برق خریداری شده افزایش داد.در این مقاله با فرض معین بودن ظرفیت آمپر ایستگاه به دنبال تعیین تعداد واحد شارژ مناسب برای ایستگاه هستیم.

در دیدگاه اولیه می‌توان تعداد واحد شارژ را با توجه به حداکثر سطح جریان هر شارژر طبق رابطهٔ (۲)از مقدار صحیح تقسیم حداکثر جریان ایستگاه به جریان سطح اول شارژر بدست آورد:

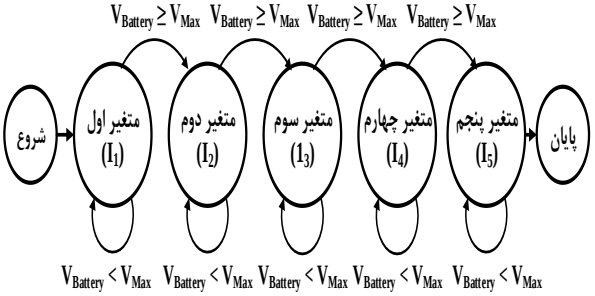
$$n_{ch} = \left[\frac{I_{station}^{max}}{I_{ch}^{max}}\right] \qquad (۲)$$

که در آن n_{ch} تعداد واحد شارژ در ایستگاه، $I_{station}^{max}$ ظرفیت آمپر کل ایستگاه و I_{ch}^{max}بالاترین(اولین) پله جریان هر کدام از شارژرهاست. به عنوان مثال اگر ظرفیت آمپری ایستگاه برای شارژرهاA ۱۵۰۰ و هر شارژر دارای جریان پله اولA ۲۵۰ باشد تعداد واحدهای شارژ ۶ عدد خواهد شد.با توجه به استفاده از روش شارژ چند پله‌ای و کاهش پله‌ای سطح جریان و وجود اختلاف زمانی بین عملکرد شارژرها، احتمال اینکه تمام شارژرها در سطح اول شارژ خود باشند بسیار کم است و لذا با این دیدگاه در زمان‌های زیادی جریان مصرفی مجموع شارژرها کمتر از ظرفیت آمپری ایستگاه است. لذا در این دیدگاه در زمان‌های زیادی از حداکثرظرفیت آمپری ایستگاه بطور کامل استفاده نمی‌شود.

دیدگاه پیشنهادی این مقاله اینست که می‌توان با همان ظرفیت آمپری ایستگاه، تعداد شارژرها را نسبت به n_{ch} بدست آمده از رابطهٔ



شکل(۲): فلوچارت روند شارژ باتری با استفاده از الگوریتم ژنتیک



شکل(۳): چارت پیشنهادیتعیین سطوح جریان شارژ

www.SID.ir

Archive of SID

(۲) افزایش داد. البته در این حالت گاهی اوقات ممکن است شارژرها نتوانند همزمان باهم کار کنند و نیاز به کمی انتظار باشد تا با کاهش پله جریان در سایر شارژرها ظرفیت آمپری لازم برای شروع به کار شارژر ایجاد شود. البته به شرط انتخاب تعداد مناسب واحد شارژ، این زمان انتظار پس از گذشت زمانی از شروع به کار ایستگاه به صفر خواهد رسید. در دیدگاه پیشنهادی لازم است یک مسأله هماهنگی بین شارژرها تعریف گردد. منظور از هماهنگی شارژرها، تعیین زمان شروع به کار هریک از شارژرها بعد از اتصال باتری خودروهاست. در این حالت ممکن است بلافاصله بعد از اتصال باتری خودرو به شارژر، فرایند شارژ شروع نشود و یک زمان انتظار ایجاد شود ولی از طرفی چون تعداد شارژرها افزایش می‌یابد کل مدت زمان شارژ برای خودروها کاهش می‌یابد.

هدف مسأله هماهنگی کمینه‌سازی میانگین زمان انتظار خودروها در ایستگاه است که بصورت رابطه (۳) تعریف می‌شود:

$$t_{wait}^{ave} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{ch}} \sum_{i=1}^{n_{ev}} t_{wait}^{j,i}}{\sum_{j=1}^{n_{ch}} n_{ev}^{j}} \qquad (۳)$$

که در آن $t_{wait}^{j,i}$ مدت زمان انتظار خودروی iام در شارژر jام و n_{ev}^{j} تعداد خودروهای شارژ شده توسط شارژر jام است.

۴- الگوریتم پیشنهادی هماهنگی شارژرها

در مسأله هماهنگی شارژرها که کلیات آن در بخش قبل بیان شد، زمان شروع به کار هر شارژر حائز اهمیت است که در قالب یک روش حل بازگشتی، الگوریتمی در جهت کاهش آن پیشنهاد می‌شود. بنابراین در مسأله هماهنگی شارژرها پارامتر اصلی، زمان انتظار است که از لحظه اتصال خودرو به شارژر تا زمان شروع به کار آن تعریف می‌شود و در رابطه (۴) بصورت تفاضل زمان شروع شارژ خودرو با زمان اتمام شارژ خودروی قبلی در شارژر تعریف می‌شود:

$$t_{wait}^{j,i} = t_{start}^{j,i} - t_{end}^{j,i-1} \qquad (۴)$$

که در آن $t_{start}^{j,i}$، زمان شروع شارژ خودرو iام در شارژر jام و $t_{end}^{j,i-1}$زمان پایان شارژ خودرو i-1ام در شارژرjام است. از طرفی زمان پایان شارژ برای هر خودرو از رابطه (۵) با جمع زدن زمان شروع به کار و طول زمان شارژ بدست می‌آید.

$$t_{end}^{j,i} = t_{start}^{j,i} + t_{charge} \qquad (۵)$$

جریان لحظه‌ای در هر شارژر بستگی به مدت زمان شروع به کار شارژر دارد که با استفاده از رابطه (۶) بدست می‌آید:

$$I_{charge}^{j,i}(t) = I(t - t_{start}^{j,i}) = I(t - (t_{end}^{j,i-1} + t_{wait}^{j,i})) \qquad (۶)$$

حال می‌توان جریان لحظه‌ای کل شارژرها را با استفاده از رابطه (۷) بدست آورد:

$$I_{use}(t) = \sum_{j=1}^{n_{ch}} I_{charge}^{j}(t) \qquad (۷)$$

میزان ظرفیت جریان باقیمانده ایستگاه با استفاده از رابطه (۸) با تفاضل ظرفیت آمپری ایستگاه برای شارژرها با جریان لحظه‌ای در حال استفاده بدست می‌آید:

$$\Delta I = I_{station}^{max} - I_{use} \qquad (۸)$$

تا زمانیکه این جریان از جریان مورد نیاز برای شروع به کار شارژر بعدی (I_{ch}^{max}) کمتر باشد زمان انتظار ثبت می‌گردد. به محض خالی شدن جریان در اثر انتقال جریان شارژرهای درحال کار به پله‌های پائین‌تر شرایط برای شروع به کار شارژر فراهم شده و زمان انتظار متوقف می‌شود.این روند بر اساس فلوچارت شکل۴ تا زمان شروع به کار خودرو در تمام شارژرها ادامه می‌یابد و تا زمانیکه خودروی در صف برای شارژ وجود دارد، محاسبات انجام می‌شود.

با توجه به الگوی شارژ و ظرفیت ایستگاه گزینه‌های مختلفی برای تعیین تعداد شارژر در ایستگاه مطرح می‌شود که از رابطه (۹) تعداد حداقل بدست می‌آید:

$$n_{ch} \geq \left[\frac{I_{station}^{max}}{I_{ch}^{max}}\right] + 1 \qquad (۹)$$

افزایش تعداد شارژرها تا یک حد معینی در کاهش زمان شارژ تأثیرگذار است و پس از آن زمان انتظار آنقدر زیاد می‌شود که دیگر سودمند نیست بنابراین به‌راحتی می‌توان با نتایج شبیه‌سازی تعداد مناسب شارژرها را بدست آورد.

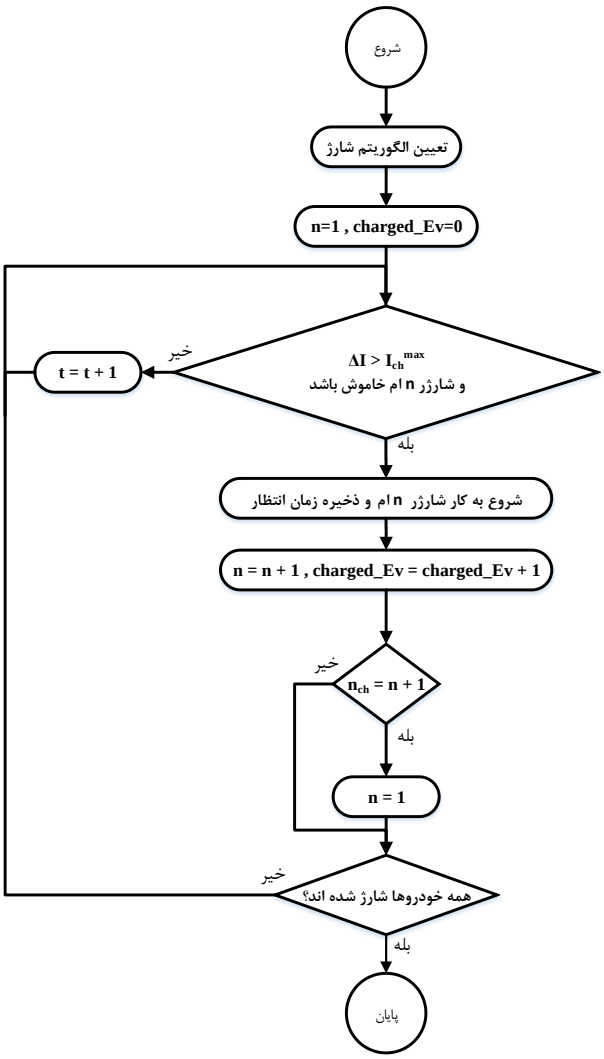
۵- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش نتایج عددی حاصل از شبیه‌سازی روش پیشنهادی در محیط نرم افزار مطلب ارائه می‌شود. در ابتدا با استفاده از روش بیان شده در بخش۲-۴ و با استفاده از الگوریتم ژنتیک سطوح مناسب جریان شارژ بدست می‌آید و سپس تعداد مناسب شارژر براساس

www.SID.ir

Archive of SID

الگوریتم بخش۳ تعیین می‌شود و در ادامه نتایج مربوط به مسأله هماهنگی شارژرها و تعیین زمان انتظار ارائه می‌گردد.



شکل(۴): الگوریتم پیشنهادی مسأله هماهنگی شارژرها

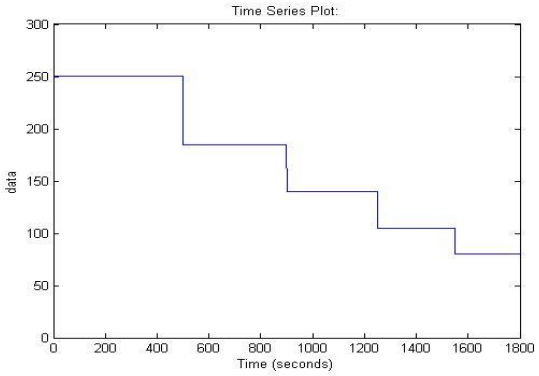
۵-۱- تعیین سطوح جریان بهینه شارژ

میزان سطوح جریان شارژ باتری به ظرفیت و نوع باتری بستگی دارد. در این مقاله از باتری نوع لیتیوم یونی با ظرفیت ۲۰ کیلووات‌ساعت که در خودروهای برقی متداول است استفاده شده است. مشخصات این باتری در جدول۲ آمده است:

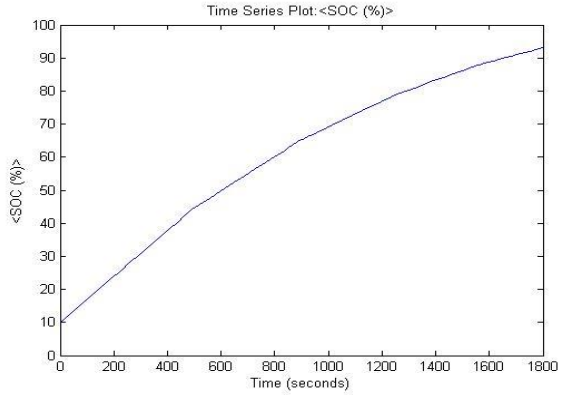
جدول(۱): مشخصات باتری بکار برده شده در شبیه‌سازی

نام مشخصه	مقدار
ولتاژ نامی (V)	۲۰۰ ولت
ظرفیت نامی (AH)	۱۰۰ آمپرساعت
ظرفیت اولیه (٪)	٪۱۰
حداکثر ولتاژ باتری (V)	۲۲۵ ولت
حداکثر جریان شارژ (A)	۲۵۰ آمپر

با پیاده‌سازی روش پیشنهادی بخش ۲-۴ و استفاده از الگوریتم ژنتیک سطوح شارژ و مدت زمان هر سطح بدست می‌آید که نتایج آن در شکل۵ آمده است.در صورت اعمال سطوح بدست آمده به باتری،حالت شارژ باتری (SOC) بصورت شکل۶ بدست می‌آید. همانطور که مشاهده می‌شود امکان شارژ باتری تا ۹۰ درصد ظرفیت خود در ۳۰ دقیقه فراهم می‌شود. برای مسأله هماهنگی نیاز به مقادیر جریان و مدت زمان در هر سطح داریم که بصورت جدول۳ نتایج ارائه شده است. براساس نتایج بدست آمده جریان ۲۵۰ آمپر حداکثر شارژ در سطح اول فقط ۵۰۰ ثانیه تداوم دارد و بعد از آن جریان به سطح دوم و مقدار ۱۸۵ آمپر کاهش داده می‌شود. کمترین جریان در سطح ۵ به مقدار ۸۰ آمپر با مدت زمان ۲۵۰ ثانیه است. مشاهده می‌شود که در زمانهای زیادی شارژر با جریان کمتر از جریان حداکثر خود در حال کار است. بخصوص وقتی که در یک ایستگاه چندین شارژر با اختلاف زمانی در حال کار هستند، مجموع جریان مصرفی در زمانهای زیادی بسیار کمتر از مجموع جریان حداکثر شارژرهاست. لذا مطابق روش پیشنهادی می‌توان تعداد شارژرها را با همان ظرفیت آمپری به اندازه مجموع حداکثر جریانها افزایش داد.



شکل(۵): سطوح جریان بدست آمده از الگوریتم ژنتیک



شکل(۶): ظرفیت شارژ شده باتری توسط الگوریتم شارژ بدست آمده

www.SID.ir

Archive of SID

جدول(۲): سطوح جریان شارژ برای نرخ شارژ ۳۰ دقیقه‌ای

سطح جریان	زمان هر پله	شماره پله
۲۵۰ آمپر	از ثانیه ۰ تا ۵۰۰	پله اول
۱۸۵ آمپر	از ثانیه ۵۰۰ تا ۹۰۰	پله دوم
۱۴۰ آمپر	از ثانیه ۹۰۰ تا ۱۲۵۰	پله سوم
۱۰۵ آمپر	از ثانیه ۱۲۵۰ تا ۱۵۵۰	پله چهارم
۸۰ آمپر	از ثانیه ۱۵۵۰ تا ۱۸۰۰	پله پنجم

۵-۲- تعیین تعداد مناسب شارژر

فرض می‌شود که ظرفیت آمپری ایستگاه برای شارژرها ۱۴۰۰ آمپر باشد، بنابراین براساس جریان پله اول شارژ که ۲۵۰ آمپر است طبق رابطه ۹ حداقل تعداد شارژرها ۶ می‌باشد. الگوریتم مسأله هماهنگی برای حالتهای ۶ تا ۱۰ شارژر انجام شده و مجموع زمان شارژ خودروها برای دو حالت ۲۰۰ خودرو و ۵۰۰ خودرو محاسبه شده است که نتایج آن در جدول ۴ آمده است.

جدول(۳): زمان شارژ ۲۰۰ و ۵۰۰ خودرو در تعداد شارژرمختلف

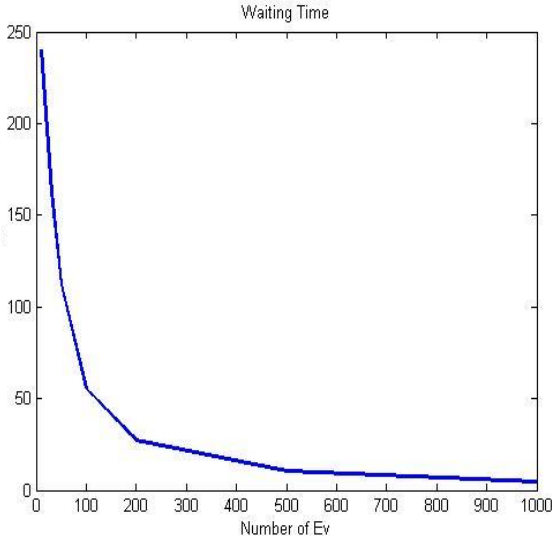
زمان شارژ ۵۰۰ خودرو	زمان شارژ ۲۰۰ خودرو	تعداد شارژرها
۱۵۱۲۰۰ ثانیه	۹۰۵۰۰ ثانیه	۶ شارژر
۱۲۹۶۰۰ ثانیه	۷۷۹۰۰ ثانیه	۷ شارژر
۱۱۴۰۰۰ ثانیه	۶۹۰۰۰ ثانیه	۸ شارژر
۱۱۳۶۵۰ ثانیه	۶۸۶۵۰ ثانیه	۹ شارژر
۱۱۳۶۵۰ ثانیه	۶۸۶۵۰ ثانیه	۱۰ شارژر

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد شارژرها از حالت اولیه ۶ عدد، زمان شارژ کل خودروها تا یک حدی روند کاهشی دارد و از یک تعداد واحد شارژ بیشتر زمان کل شارژ خودروها تغییری نمی‌کند. در حالت تعداد ۹ و ۱۰ شارژر، زمان شارژ کاملاً یکسان است لذا ۹ حد بالای تعداد مناسب شارژرها است. از طرفی از تعداد ۸ به ۹ تغییر زمان شارژ کاهش بسیار ناچیزی داشته است ولی اختلاف زمان شارژ ۶و۷ با ۸ خیلی زیاد است. بنابراین تعداد مناسب شارژرها ۸ عددانتخاب می‌شود که در ادامه نتایج برای این تعداد ارائه می‌گردد.

۵-۳- نتایج مسأله هماهنگی شارژرها

در این بخش زمان انتظار خودروها با روش پیشنهادی در بخش ۴ برای حالت ۸ شارژر مورد بررسی قرار می‌گیرد. شرایط اولیه برای محاسبات به صورت زیر است:

میانگین زمان انتظار مجموعه خودروها براساس رابطه (۳) برای حالت ۸ شارژر بدست می‌آید. مسلم است که این زمان انتظار بستگی به تعداد خودروها دارد. براین اساس الگوریتم برای تعداد خودروی متفاوت اجرا شده و زمان انتظار در هر حالت بدست آمده که نتیجه آن در شکل۷ رسم شده است. افزایش تعداد خودروهای شارژ شده به معنی گذشت زمان از شروع به کار ایستگاه است. همانطور که مشاهده می‌شود میانگین زمان انتظار با افزایش خودروهای موجود در ایستگاه کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر با گذشت زمان از شروع به کار شارژرها و ایجاد اختلاف زمانی مناسب بین عملکرد شارژرها، کمترین زمان انتظار برای خودروها ایجاد می‌شود بطوریکه در حالت دائم تقریباً به صفر می‌رسد. به عبارت دیگر با بوجود آمدن اختلاف زمانی بین زمان شروع به کار هر یک از شارژرها و اینکه هریک از آنها در سطوح شارژ متفاوتی درحال کار هستند، در حالت دائم شارژرها می‌توانند با هم در حال کار باشند و زمان انتظار به صفر برسد. اختلاف زمانی شارژ بین شارژرها در حالت دائم در جدول۵ آمده است.



شکل(۷): میانگین زمان انتظار خودروها در ایستگاه با ۸ شارژر

جدول(۴): اختلاف زمانی شروع به کار شارژرها در حالت دائمی

شماره شارژر	اختلاف زمانی شروع به کار سایر شارژرها با شارژر شماره ۱
شارژر۱	ثانیه اول شروع به کار می‌کند
شارژر۲	با اختلاف ۱۰۰ ثانیه با شارژر۱
شارژر۳	با اختلاف ۳۵۰ ثانیه با شارژر۱
شارژر۴	با اختلاف ۶۰۰ ثانیه با شارژر۱
شارژر۵	با اختلاف ۸۵۰ ثانیه با شارژر۱
شارژر۶	با اختلاف ۱۰۰۰ ثانیه با شارژر۱
شارژر۷	با اختلاف ۱۲۵۰ ثانیه با شارژر۱
شارژر۸	با اختلاف ۱۵۰۰ ثانیه با شارژر۱

$$t_{wait}^{1,1}=0 \quad t_{end}^{j,0}=0 \quad t_{start}^{1,1}=0 \quad I_{charge}^{1,1}=0$$

مشاهده می‌شود که در حالت دائم می‌توان با ظرفیت ایستگاه ۱۴۰۰ آمپری ۸ واحد شارژ دارای سطح اول شارژ ۲۵۰ آمپر را با زمان انتظار صفر (یعنی شروع شارژ بلافاصله بعد از اتصال) تغذیه نمود. به

www.SID.ir

Archive of SID

عبارت دیگر حدود ۶۰۰ آمپر در ظرفیت برق ایستگاه صرفه جویی خواهد شد که می‌تواند کاهش چشم‌گیری در هزینه امتیاز برق خریداری شده برای ایستگاه ایجاد کند.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله روش شارژ سریع جریان چند پله‌ای با تعیین سطوح بهینه جریان و مدت زمان هر سطح با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شد. همچنین در این مقاله برای استفاده بهینه از ظرفیت برق ایستگاه در جهت شارژ تعداد خودروی بیشتر در زمان کمتر برای اولین بار مسأله هماهنگی شارژرها در ایستگاه شارژ سریع مطرح شد. این موضوع با تعیین زمان‌بندی مناسب برای شروع به کار هریک از شارژرها در ایستگاه انجام گردید. زمان انتظار خودروها برای شارژ، پارامتر مهم در طراحی ایستگاه است که کاهش آن برای مالک ایستگاه افزایش سود و برای مالک خودروی برقی کاهش زمان شارژ را به‌دنبال دارد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از ظرفیت آمپری ایستگاه تعداد مناسب شارژر را بدست آورد. در ابتدای شروع به کار ایستگاه چون هنوز اختلاف زمانی بین عملکرد شارژرها بوجود نیامده است زمان انتظار برای شارژرها وجود دارد ولی با گذشت زمان و پس از شارژ تعدادی خودرو و ایجاد اختلاف زمانی مشخص بین شارژرها، هریک از آنها در سطوح مختلف جریان قرار گرفته و جمع جریان مصرفی لحظه‌ای آنها کاهش می‌یابد و ایستگاه می‌تواند همزمان جریان شارژرها را تامین تا میانگین زمان انتظار به کمترین مقدار خود برسد.در پژوهش های آینده می‌توان این طرح را به عنوان یک سیستم چند عامله با فرضیات دقیق‌تری در نظر گرفت. به عنوان مثال باتری‌ها از یک نوع نبوده و ظرفیت‌های اولیه مختلفی داشته باشند. به علاوه، در انتخاب تعداد شارژرها می‌توان دیدگاه‌های اقتصادی را دقیق‌تر در نظر گرفت. علاوه بر این، می‌توان هماهنگی شارژرها را به صورت مسأله بهینه‌سازی تعریف کرد و از همان ابتدا اختلاف زمانی لازم برای کار پایدار را بین شارژرها در نظر گرفت که در این صورت زمان انتظار هر خودرو برابر با میانگین زمان انتظار حالت دائم می‌شود.

مراجع

[1] S.Shafiee,M.Fotuhi-Firuzabad,M.Rastegar,"Investigating the Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Power Distribution Systems," IEEE Transaction on smart grid, Vol.4, No.3, pp.1351–1360,2013.

[2] K. J. Dyke, N. Schofield, and M. Barnes, "The impact of transport electrification on electrical networks," IEEE Transaction on industrial Electronics, Vol.57, No.12, pp. 3917-3926, 2010.

[۳] محمدتقی نوده، حسین قلی‌زاده نرم و امین حاجی‌زاده، " استراتژی کنترل پیشبین برای مدیریت توان در خودروی الکتریکی هیبرید موازی"، مجله انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران، سال سیزدهم، شماره سوم،پائیز۱۳۹۵.

[۴] سعید سلمانی و شهرام جدید، "بهره‌برداری بهینه شبکه توزیع هوشمند در حضور منابع انرژی پراکنده"، مجله انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران، سال سیزدهم، شماره سوم، پائیز۱۳۹۵.

[۵] محمدقلی‌نیا، مهران صفدری و سمیه حسن‌پور، " طرح روشی نوین در برنامه‌ریزی بهینه کوتاه مدت ریزشبکه"، مجله انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران، سال پانزدهم، شماره اول، بهار۱۳۹۷.

[6] P. García-Triviño, L. M. Fernández-Ramírez, J. P. Torreglosa, F. Jurado, "Control of electric vehicles fast charging station supplied by PV/energy storage system/grid," IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), 2016.

[7] A. Rajabi-Ghahnavieh, P. Sadeghi-Barzani, "Optimal Zonal Fast-Charging Station Placement Considering Urban Traffic Circulation", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 66, No.1, pp. 45 – 56, 2017.

[8] P. Phonrattanasak, and N. Leeprechanan, "Optimal Placement of EV Fast Charging Station Considering the Impact on Electrical Distribution and Traffic Condition," International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE), 2014.

[9] H. Zhang, S. Moura, Z. Hu, and Y. Song,"PEV Fast-Charging Station Siting and Sizing on Coupled Transportation and Power Networks,"IEEE Transactions on Smart Grid, vol.9, no.4,pp. 2595 - 2605, 2018.

[10] N. Chen, M. Wang, and X.Shen, "Optimal PV Sizing Scheme for the PV-IntegratedFast Charging Station," IEEE 8th International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), 2016.

[11] P.Kadar, A.Varga, "photovoltaic EV charge station," IEEE 11th international symposium on applied machine intelligence and informatics, Slovakia, 2013.

[12] S.Negarestani, M.Fotuhi-Firuzabad, M.Rastegar, A.Rajabi-Ghahnavieh, "Optimal Sizing of Storage System in a Fast Charging Station for Plug-in Hybrid Electric Vehicles," IEEE Transactions on Transportation Electrification, Vol. 2,No. 4, pp. 443-453, 2016.

[13] J. Deng,J.Shi,Y. Liu, andY. Tang, "Application of a hybrid energy storage system in the fast charging station of electric vehicles,"IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 10, No.4, pp. 1092-1097,2016.

[۱۴] پرویز نجفی، محمد هادی امینی، محسن پارسامقدم، "برنامه‌ریزی انرژی ومدیریت ایستگاه‌های شارژ سریع باتری خودرو الکتریکی با در نظر گرفتن ذخیره‌سازهای انرژی"، هفدهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، تهران، ۱۳۹۱.

[15] M.Ahmadi, N. Mithulananthan, and R. Sharma, "A Review on Topologies for Fast Charging Stations for Electric Vehicles,"IEEEInternational Conference on Power System Technology, 2016.

[16] A. Arancibia, K. Strunz, "Modeling of an Electric Vehicle Charging Stationfor Fast DC Charging,"IEEE International Electric Vehicle Conference, 2012.

[17] S.Bai, Y.Du, and S.Lukic, "Optimum design of an EV/PHEV chargingstation with DC bus and storage system,"IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, pp. 1178 – 1184, 2010.

www.SID.ir

Archive of SID

[18] H. L.N. Wiegman, "A Review of Battery Charging Algorithms and Methods", for power designers, rev.3, 1999.

[19] C. L. Liu, S. C. Wang, Y. H. Liu, M. C. Tsai, "An optimum fast charging pattern search for Li-Ion batteries using particle swarm optimization," IEEE Conference SCIS-ISIS, Japan, 2012.

[20] Y. H. Liu, J. H. Teng, Y. C. Lin, "Search for an optimal rapid charging pattern for Lithium-Ion batteries using Ant Colony System Algorithm," IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 52, No. 5, 2005.

[21] Y. H. Liu and Y. F. Luo, "Search for an optimal rapid charging pattern for li-ion batteries using Taguchi approach," IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol.57, No.12, pp.3963-3971, 2010.

[22] C. C. Hua, M. Y. Lin, "A study of charging control of lead-acid battery for electric vehicles," IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2000.

[23] J. Tan, and L. Wang, "Real-Time Charging Navigation of Electric Vehicles to Fast Charging Stations: A Hierarchical Game Approach," IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 8, No. 2, pp. 846-854, 2017.

[24] I. Zenginis, J. Vardakas, N. Zorba, C. Verikoukis, "Performance Evaluation of a Multi-standard Fast Charging Station for Electric Vehicles", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 9, No. 5, pp. 4480-4489, 2018.

[25] P. Fan, B. Sainbayar, S. Ren, "Operation analysis of fast charging stations with energy demand control of electric vehicle," IEEE Transaction on smart grid, Vol. 6, No. 4, pp. 1819-1826, 2015.

زیرنویس‌ها

[1]State of Charge

www.SID.ir