

مدیریت پرشدگی سیستم‌های توزیع به وسیله شارژ هوشمند خودروهای برقی

محمد رضا زرگر شوشتری^۱، محسن صنیعی^۲

^۱گروه برق، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، Mr.zargar54@gmail.com

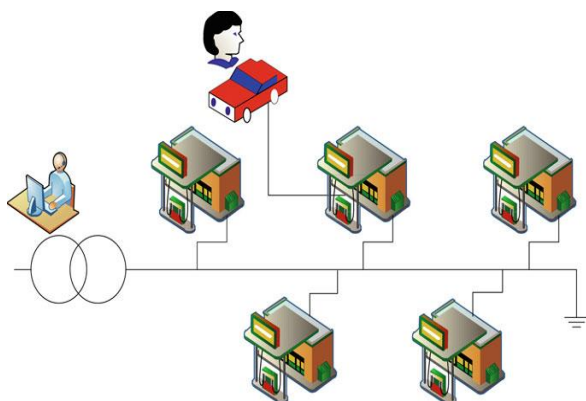
^۲گروه برق، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران، Mohsen.saniei@gmail.com

چکیده - در این مقاله مدیریت پرشدگی سیستم‌های توزیع با در نظر گرفتن شارژ هوشمند خودروهای برقی مدل‌سازی و حل شده است. این مسئله از دیدگاه بهره‌بردار سیستم توزیع که وظیفه تأمین پیوسته بار و حفظ قیود شبکه را بر عهده دارد، برای روز بعد انجام خواهد شد. در این راستا در ابتدا مقدار بار عادی سیستم، تعداد خودروهای برقی متصل شده و نیاز آنها برآورد خواهد شد سپس بهره‌بردار سیستم توزیع اقدام به برنامه‌ریزی شارژ خودروهای برقی با هدف کمینه نمودن هزینه‌ی خرید برق از شبکه می‌نماید. در این مقاله سه حالت مختلف در نظر گرفته شده است: شارژ غیرهوشمند، شارژ هوشمند و شارژ / دشارژ هوشمند. به منظور بررسی مدل پیشنهادی از نرم‌افزار GAMS و روش حل غیر خطی برای یک سیستم نوعی توزیع استفاده شده است. یک سیستم توزیع ۶۹ باسه واقعی به عنوان نمونه موردی استفاده شده است. کلید واژه - بهره‌برداری، بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی روز بعد، شارژ هوشمند، خودروهای برقی.

باتری و تعرفه‌ها تاثیرگذار بوده و لذا پژوهشگران پی‌گیری حل این مسائل و برنامه‌هایی جهت کاهش این اثرات را دنبال می‌کنند. استفاده گسترده از PEVها با فن‌آوری جدید تاثیر مثبتی بر اقتصاد و محیط زیست می‌گذارد. این کار به ایجاد حمل و نقل پاک و مستقل شدن انرژی کمک می‌کند.

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر با تجدید ساختار در سیستم‌های قدرت تغییرات فراوانی در سیستم‌های قدرت به وجود آمده است. در سمت تولید، خصوصی‌سازی و شکل‌گیری بازار برق و نیز استفاده از انرژی‌های نو به منظور تولید برق مهمترین تغییر به وجود آمده می‌باشد. با توجه به ماهیت تصادفی انرژی‌های نو همانند باد و خورشید تغییرات توان در زمان واقعی بسیار زیاد بوده و در نتیجه دنبال کردن بار سخت می‌باشد. از تغییرات مهم دیگر در بخش توزیع معرفی و افزایش بکارگیری از خودروهای برقی می‌باشد.



شکل ۱- شبکه توزیع با جایگاه شارژ PEVها [۱]

۱-۱ شبکه توزیع و ورود خودروهای برقی

استفاده از خودروهای برقی (PEV)ها در سطح شبکه توزیع برای شارژ باتری‌هایشان، اثرات منفی در شبکه انتقال و توزیع به وجود می‌آورد. تاثیر نفوذ خودروهای برقی بر شبکه توزیع متفاوت می‌باشد این اثرات بر الگوی شارژ، سرعت شارژ، مشخصات شارژ، تلفات توان در شبکه توزیع، الگوی رانندگی خودروها، پاسخ و تقاضا (DR)^۲، استراتژی جهت کاهش بار، مسافت رانندگی، اندازه

1. Plug in electric vehicle
2. Demand response

توزیع می‌باشد. این تحقیق به وسیله تقاضاهای انعطاف‌پذیر با الگوریتم شارژ هوشمند خودروها تحت بازار روز پیش‌رو با تعرفه‌های دینامیکی سیستم که از برنامه قیمت مکان‌های حاشیه‌ای و با هدف کم کردن هزینه شارژ و مدیریت تراکم صورت گرفته مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲ انواع خودرو برقی

خودرو برقی باتری‌دار ($BEVs$)^۶، خودرو برقی هیبریدی متصل شونده ($PHEVs$)^۷ و انواع دیگر خودرو برقی، خودروهای برقی فتوولتائیک و خودرو برقی سوخت فسیلی ($FCVs$)^۸ می‌توان نام برد.

۲- مزایای ارتباط با شبکه هوشمند

- ۱- انتقال کارآمدتر از برق، مرمت و بازسازی سریع در برق پس از بروز اختلالات قدرت امکانات و تجهیزات مدیریت کاهش هزینه‌ها و در نهایت پایین آمدن هزینه‌ها برق برای مشتریان.
- ۲- کاهش اوج تقاضا، که به نرخ پایین‌تر برق کمک خواهد کرد افزایش یکپارچگی در مقیاس بزرگ سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر را برای خود فراهم آورد.
- ۳- یکپارچگی بهتر از مشتریان - مالک سیستم‌های تولید برق از جمله سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر.
- ۴- بهبود امنیت
- ۵- کاهش اثرات ورود خودروهای برقی بر سیستم شبکه توزیع.

۳- تابع هزینه

با تجدید ساختار در سیستم‌های قدرت، برق برخلاف محیط سنتی از طریق بازار برق داد و ستد می‌شود. شرکت‌ها و بهره‌برداران توزیع نیز همانند دیگر بازیگران در ملزم به حضور در بازار برق برای تهیه نیاز خود می‌باشند. برای خرید برق، بهره‌برداران سیستم باید در بازار برق روز بعد شرکت نمایند. در نتیجه بهره‌برداران توزیع باید در ابتدا برآوردی از قیمت برق در ساعات مختلف انجام دهد.

استفاده از PEV ها به جای خودروهایی با سوخت فسیلی باعث کاهش نشر گازهایی مانند دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروژن و اکسید گوگرد می‌شود. [۱] بر اساس پیش بینی صورت گرفته در سال ۲۰۵۰ در ایالات متحد آمریکا تعداد زیادی از جایجایی‌ها توسط PEV ها انجام خواهد شد و تنها نیاز به افزایش ۸٪ در تولید برق و افزایش ۴٪ در ظرفیت تولید به وجود می‌آورد. علاوه بر این، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG)^۳ از خودروهای معمولی و کاهش استفاده از سوخت در بخش حمل و نقل قابل توجه خواهد بود. طبق مطالعات موردی در ایالات متحده آمریکا نرخ نفوذ PEV ها به‌طور متوسط برای ۱۶٪ در سال گزارش شده است. [۲] در [۳] تحت عنوان پیشنهاد بهینه برای نماینده جمعی از EV ها در بازار برق صورت گرفته است. در [۴] تحت عنوان تعرفه‌های روز پیش‌رو برای کاهش تراکم شبکه‌های توزیع برای خودروهای برقی به وسیله برنامه LMP ارائه شد. در [۵] بررسی حالات مختلف شارژ EV ها در رفع مشکلات سیستم قدرت به‌صورت کلی تحت سه موضوع مشتری مداری (پاسخ EV ها) و اپراتور سیستم توزیع و قدرت به‌وسیله سیستم تولید انرژی باد بررسی و کمینه کردن هزینه‌های شارژ و کم کردن تلفات شبکه تحت بازار روز پیش‌رو و هزینه‌های اقتصادی سیستم قدرت تحت مدیریت سیستم را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. در [۶] تحت عنوان خودروهای برقی و شبکه‌های الکتریکی مروری بر تاثیرات مدل پیشنهادی و انرژی تجدیدپذیر یکپارچه که در حوضه خودروهای برقی و سودمندی آنها در حمل و نقل، ایجاد کاهش سوخت، گازهای گلخانه‌ای و انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی و بررسی کلی در مورد شبکه‌های هوشمند انجام داده‌اند. در [۷] بیشترین برنامه‌ریزی برای مدیریت تراکم سیستم‌های توزیع توسط خودروهای برقی که در سال ۲۰۱۵ براساس برنامه‌ریزی DSO ^۵ طبق ظرفیت‌های ایجاد شده در اپراتور بازار که تقاضاهای خاص به اپراتور سیستم توزیع فرستاده شده و طبق این تقاضاها ظرفیت ایجاد شده در بازار برنامه‌ریزی صورت می‌گیرد و باعث کنترل و مدیریت تراکم در سطح شبکه توزیع می‌شود. در [۸] هماهنگی زمان واقعی در شارژ خودروهای برقی در شبکه هوشمند با کم کردن تلفات توان و تاثیر پروفیل ولتاژ صورت گرفته است. در [۹] که تحت عنوان مدیریت شارژ خودروهای برقی با تعرفه‌های دینامیکی سیستم

3. Green house Gas

4. Electric vehicle

5. Distribution system operator

6. Battery electric vehicle

7. Plug-in hybrid electric vehicle

8. Fuel cell electric vehicles

که در آن $E_{v,t}$ انرژی ذخیره شده در باتری دسته خودرو برقی v در ساعت t می‌باشد که به مقادیر کمینه و بیشینه آن محدود شده است.

نرخ کاهش انرژی دسته خودرو v را با در نظر گرفتن بازده شارژ / دشارژ می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$E_{v,t}^{net} = P_{v,t}^{dch} - \eta_v \times P_{v,t}^{ch} \quad (5)$$

همچنین نرخ تولید توان توسط یک دسته به صورت زیر می‌باشد:

$$P_{v,t} = P_{v,t}^{dch} - P_{v,t}^{ch} \quad (6)$$

توجه داریم که $P_{v,t}$ یک متغیر آزاد می‌باشد که هم می‌تواند مقادیر مثبت و هم مقادیر منفی اختیار نماید.

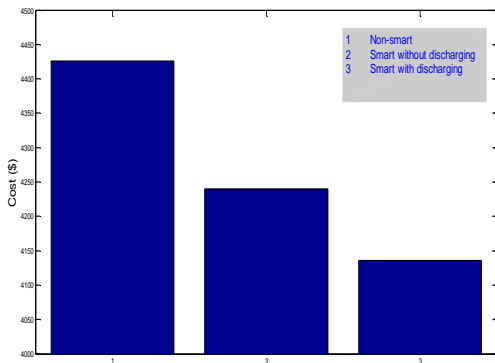
با استفاده از نرخ کاهش انرژی دسته خودرو می‌توان قید تعادل انرژی باتری‌های دسته خودروها را برای ساعت اول و دیگر ساعات بهره‌برداری به صورت زیر نوشت:

$$E_{v,t}^{net} = E_{v,0}^{net} - E_{v,t}^{net} - (1 - N_{v,t}) \times DR_{v,t} \quad (7)$$

$$E_{v,t}^{net} = E_{v,t-1}^{net} - E_{v,t}^{net} - (1 - N_{v,t}) \times DR_{v,t} \quad (8)$$

۴- نتایج شبیه‌سازی

هزینه کلی بهره‌برداری شبکه برای حالت‌های مختلف در شکل ۲- نمایش داده شده است. هزینه برای حالت عادی که خودروهای برقی به صورت غیرهوشمند و به محض اتصال به شبکه شارژ می‌شوند برابر با ۴۴۲۵ دلار، برای شارژ هوشمند و عدم امکان دشارژ ۴۲۳۹ دلار و برای حالت شارژ و دشارژ هوشمند ۴۱۳۵ دلار می‌باشد.



شکل ۲- هزینه کلی در حالت‌های مختلف

سپس بر اساس این برآورد مقدار مصرف خود را در صورتی که امکان کنترل مصرف وجود داشته باشد، تعیین و بهینه نماید و به بازار برق روز بعد اعلام کند و برق خریداری نماید.

با این توضیحات می‌توان تابع هدف بهره‌برداری را هزینه تأمین برق در نظر گرفت که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$cost = \sum_t \pi_t \times P_{post,t} \quad (1)$$

که در آن $cost$ هزینه بهره‌برداری برای کل بازه ۲۴ ساعته روزانه و π_t قیمت برق در ساعت t می‌باشد.

۳- مدل‌سازی خودروی برقی

خودروهای برقی در شبکه‌های توزیع متصل می‌شوند به صورت دسته‌ای مدل‌سازی می‌شوند. هر دسته خودرو برقی تعدادی خودرو می‌باشند که در یک ساعت مشخص از خانه‌های متصل به یک باس شبکه توزیع خارج شده و در ساعت دیگر به این باس برمی‌گردند.

در ابتدا نیاز است که شارژ و دشارژ دسته به مقادیر بیشینه آنها محدود گردد. بر این اساس داریم:

$$0 \leq P_{v,t}^{ch} \leq P_v^{ch,max} \times N_{v,t} \quad (2)$$

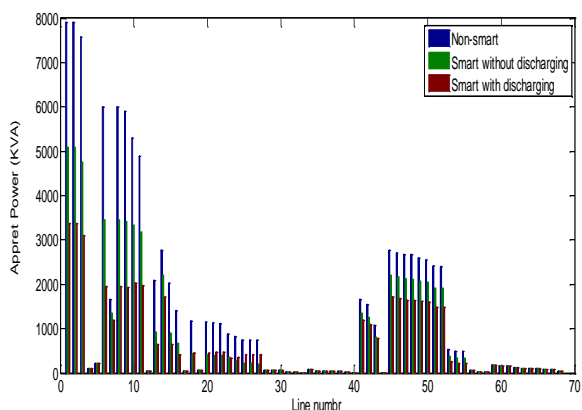
که در آن $P_{v,t}^{ch}$ نرخ شارژ دسته v در ساعت t می‌باشد. قید بالا بیان می‌کند که نرخ شارژ دسته یک متغیر مثبت است که در صورتی که دسته به شبکه متصل باشد نرخ شارژ خودروهای برقی محدود به بیشینه آن $P_v^{ch,max}$ در هر ساعت باید باشد. به صورت مشابه داریم:

$$0 \leq P_{v,t}^{dch} \leq P_v^{dch,max} \times N_{v,t} \quad (3)$$

که در آن $P_{v,t}^{dch}$ نرخ دشارژ دسته v در ساعت t می‌باشد. به صورت مشابه این قید بیان می‌کند که نرخ دشارژ دسته یک متغیر مثبت است که در صورتی که دسته به شبکه متصل باشد به بیشینه آن $P_v^{dch,max}$ در هر ساعت محدود می‌شود.

علاوه بر محدود نمودن نرخ‌های شارژ و دشارژ، انرژی ذخیره شده در باتری خودروهای برقی نیز باید محدود شود. بر این اساس داریم:

$$E_v^{min} \leq E_{v,t} \leq E_v^{max} \quad (4)$$



شکل ۶- توان ظاهری کلیه خطوط در ساعت ۱۸

در شکل ۶- توان ظاهری تمامی خطوط برای ساعت ۱۸ که بیشینه مصرف (مصرف عادی و شارژ خودروهای برقی) در حالت اول رخ می‌دهد و تمامی حالات نمایش داده شده‌است.

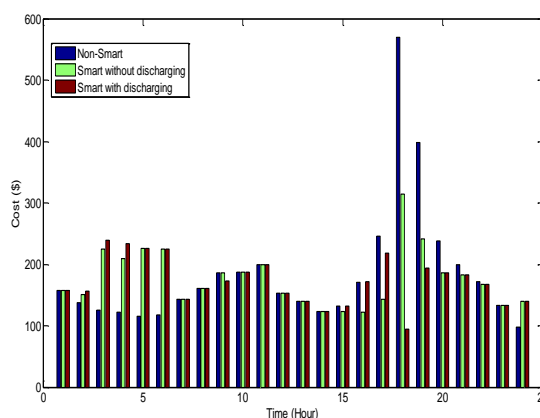
۵- نتیجه گیری

در این مقاله مدیریت شارژ خودروهای برقی با هدف مدیریت تراکم و کاهش هزینه بهره‌برداری سیستم توزیع مورد بررسی قرار گرفت. در روش اول شارژ خودروهای برقی کنترل می‌شود. این روش در نتایج منجر به هزینه‌های کمتر بهره‌برداری شده، توان پست توزیع در محدوده مجاز خود باقی مانده و در نهایت ولتاژ نیز در محدوده مجاز ۵٪ باقی می‌ماند. دلیل اصلی این مزایا شارژ خودروها در ساعات شب می‌باشد که در این ساعت بار عادی شبکه کم و قیمت برق کم می‌باشد. در نتیجه بهره‌برداری به هزینه‌های کمتر منجر شده و مصرف آنقدر زیاد نمی‌شود که نیاز به گسترش پست اتفاق بیفتد. بر این اساس می‌توان به راحتی با کنترل شارژ خودروهای برقی، تراکم در شبکه توزیع را کنترل کرد. در روش سوم علاوه بر شارژ هوشمند خودروهای برقی، امکان دشارژ آنها نیز در نظر گرفته شده است.

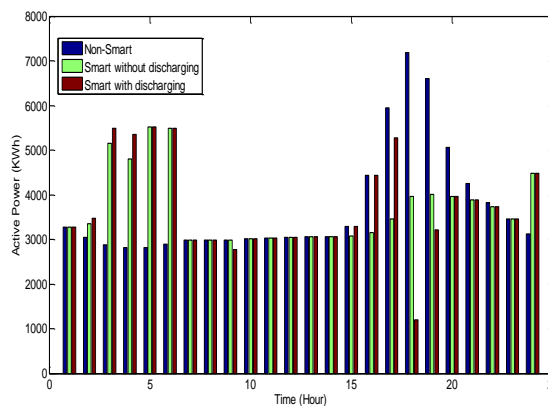
مراجع

- [1] Liu R, Dow L, Liu E. 2011. A survey of PEV impacts on electric utilities. in Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), IEEE PES, pp. 8-1.
- [2] Sekyung H, Soohee H, Sezaki K. 2010. Development of an Optimal Vehicle-to-Grid Aggregator for Frequency Regulation. Smart Grid, IEEE Transactions on, vol. 1, pp. 65-72.

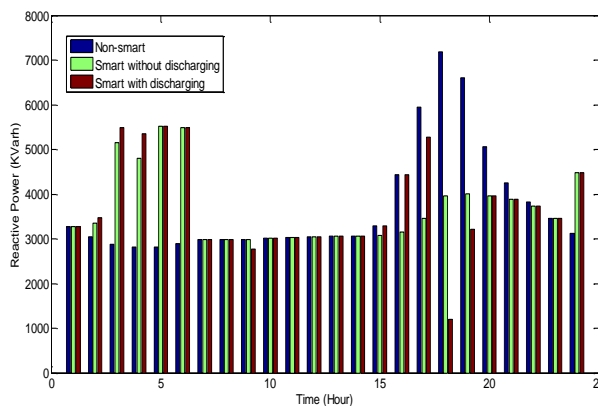
برای بررسی دقیقتر دلیل کاهش هزینه در حالت‌ها با شارژ و دشارژ هوشمند هزینه ساعتی در حالات مختلف در شکل ۳ نمایش داده شده‌است. دلیل اصلی این تفاوت را می‌توان در هزینه ساعات ۱۸ و ۱۹ که گران‌ترین ساعات شبکه می‌باشند بررسی نمود.



شکل ۳- هزینه ساعتی حالت‌های مختلف



شکل ۴- توان اکتیو ساعتی پست توزیع



شکل ۵- توان راکتیو ساعتی پست توزیع

- [3] Bessa R.J, Matos M.A, Soares F.J, Lopes J.A.P. 2012. Optimized Bidding of a EV Aggregation Agent in the Electricity Market. Smart Grid, IEEE Transactions on, vol. 3, pp. 443-452.
- [4] O'Connell N, Wu Q, Østergaard J, Nielsen A.H, Cha S.T, Ding Y. 2012. Day-ahead tariffs for the alleviation of distribution grid congestion from electric vehicles. Electric Power Systems Research, vol. 92, pp. 106-114.
- [5] Verzijlbergh R.A, Lukszo Z, Ilic M.D, 2012. Comparing different EV charging strategies in liberalized power systems. in European Energy Market (EEM), 9th International Conference on the, pp. 1-8.
- [6] Richardson D.B. 2013. Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 19, pp. 247-254.
- [7] Hu J, Saleem A, You S, Nordström L, Lind M, Østergaard J. 2015. A multi-agent system for distribution grid congestion management with electric vehicles. Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 38, pp. 45-58.
- [8] Deilami S, Masoum A.S, Moses P.S, Masoum M.A.S. 2011. Real-Time Coordination of Plug-In Electric Vehicle Charging in Smart Grids to Minimize Power Losses and Improve Voltage Profile. Smart Grid, IEEE Transactions on, vol. 2, pp. 456-467.
- [9] O'Connell N, Qiuwei W, Ostergaard J, Nielsen A.H, Seung Tae C, Yi D. 2011. Electric Vehicle (EV) charging management with dynamic distribution system tariff. in Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on, pp. 1-7.