طراحی مدیریت انرژی هوشمند در ساختمان با انرژی صفر با حضور منابع تجدیدپذیر و خودروهای برقی متصل به شبکه

محمد ایمان غیاثی[۱] ، مسعود علی اکبر گلکار[۲]، امین حاجی زاده[۳]

۱- دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی- تهران- ایران
golkar@kntu.ac.ir
۳- دانشکده مهندسی برق و رباتیک- دانشگاه شاهرود - شاهرود- ایران
aminhajizadeh@shahroodut.ac.ir

چکیده: در این مقاله، مدیریت انرژی در یک ساختمان با انرژی صفر با حضور منابع تجدیدپذیر خورشیدی، پیل سوختی، باطری و خودرو الکتریکی ارائه می شود. برای این منظور ابتدا توسط مدلهای ریاضی برای هریک از منابع تولید و مبدلهای الکترونیک قدرت، سیستم تولید توان ترکیبی با در نظر گرفتن بار ساختمان شبیه سازی می گردد. در ادامه با طراحی یک استراتژی مدیریت توان هوشمند به منظور دستیابی به توان مناسب برای هر یک از منابع، سهم تولید توان هر یک مشخص می گردد. از ویژگیهای بارز این کار تحقیقاتی می توان به برنامه ریزی هماهنگ خودروهای برقی برای پوشش دادن بار ساختمان اشاره کرد. به منظور صحه گذاری بر عملکرد استراتژی مدیریت توان پیشنهادی، شبیه سازی در محیط نرم افزار MATLAB انجام شده است. در این مقاله بار ساختمان بصورت فرضی در نظر گرفته شده است. این نتایج نشان می دهد که مدیریت توان پیشنهادی قادر است تا شاخص انرژی صفر را در ساختمان پیاده سازی نماید.

واژه های کلیدی: ساختمان با انرژی صفر، منابع تجدیدپذیر، خودرو برقی، کنترل هوشمند.

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۳/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۴/۰۶/۰۴

نام نویسنده‌ی مسئول : مسعود علی اکبر گلکار

نشانی نویسنده‌ی مسئول : دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.3.6]

۱- مقدمه

رشد علم و صنعت و فن آوری در جهان امروز، روش های مختلف استفاده از انرژی را که در دوران قبل از انقلاب صنعتی معمول بود دگرگون کرده، و شناخت منابع انرژی های جدید، تحولی عظیم در توسعه صنعتی و تکامل اجتماعی بشر به وجود آورده است. با افزایش بهای انرژی دردنیا در سال های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ دراکثر نقاط جهان، مهندسین به فکر ساخت خانه هایی به مصرف انرژی کم افتادند. ولی هنوز ساخت خانه هایی با مصرف انرژی صفر در حیطه مطالعات و تحقیقات بود. با افزایش توجه دولت ها به این موضوع در امریکا به موجب قانون تصویب شده در سال ۲۰۰۷ به منظور حمایت از ایجاد ساختمان هایی با مصرف خالص انرژی صفر، تا سال ۲۰۴۰ نیمی از ساختمان های تجاری و تا سال۲۰۵۰ تمام ساختمان های تجاری امریکا مصرف خالص انرژی شان باید صفر باشد. در اروپا در سال ۲۰۱۰ تصمیم گرفته شد تا از سال ۲۰۱۸ در مورد ساختمان هایی با کاربری عمومی و ساختمان های متعلق به مقامات، بحث نزدیک شدن به مصرف انرژی صفر اعمال شود و از سال ۲۰۲۰ به بعد برای همه ی ساختمان های جدید اعمال شود [۲-۱].

از سوی دیگر با مطرح شدن بحث شبکه های هوشمند در سیستم های قدرت، ایجاد سازگاری بین شبکه و حضور این خودروها بعنوان یک پدیده جدید که دارای پیامد های مختلف مثبت ومنفی است، بسیار حیاتی می باشد. در این راستا شبکه های هوشمند بدلیل داشتن توانایی اندازه گیری و مشاهده لحظه ای و عملکرد خودکار کمک زیادی برای مدیریت خودروهای برقی در شبکه ارائه می کنند. چون حضور آنی و تصادفی خودروهای برقی ، تصمیم و عملکرد سریعی را می طلبد.

هدف از انجام این مقاله تامین بار یک ساختمان با حضور منبع فتوولتائیک و خودرو برقی و شبکه می باشد به طوری که در انتهای یک شبانه روز ساختمان ما با انرژی صفر باشد. فتوولتائیک در طول روز انرژی تابشی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند و ساختمان می تواند با این توان تولیدی نیاز خودش را بر طرف سازد اما در طول شب آرایه خورشیدی توانی تولید نمی کند لذا در کنار سلول خورشیدی نیاز به یک باتری ذخیره ساز داریم تا در طول روز به هنگام تولید مازاد توان، انرژی را ذخیره کند و در طول شب از این انرژی ذخیره شده استفاده شود. در مرحله بعد خودرو برقی هم اضافه می شود که در ساعات کم باری شارژ می شود و در زمان های پیک بار که مصرف ساختمان بیش از تولید مجموعه آرایه خورشیدی و باتری است خودرو الکتریکی آنقدر توان تولید کند که هم بار ساختمان جبران شود و هم مجموع توان های گرفته شده و داده شده به شبکه صفر شود و در نهایت به هدف ساختمان با انرژی صفر دست یابیم [۴-۳].

۲- مدیریت انرژی در ساختمان های با انرژی صفر

تعاریف مختلفی برای ساختمان های با مصرف انرژی خالص صفر و ساختمان های با انرژی صفر وجود دارد که در اکثر آن ها فقط مصرف انرژی در طول زمان کار و بهره برداری از ساختمان مورد نظر است در حالی که باید به انرژی صرف شده برای ساختن ساختمان ، تجهیزات ، مواد و مصالح ساختمانی نیز برای برقراری تعادل بین تولید و مصرف انرژی پرداخت. در یک ساختمان با انرژی صفر ، کاهش مصرف انرژی را به روش های نوین ایجاد می کنیم و همین مقدار مصرف اندک را نیز به کمک انرژی های تجدید پذیر تامین می کنیم. ساختمان با انرژی صفر ترکیبی از طرح های انفعالی و تکنولوژی های فعال برای برقراری تعادل بین تولید و مصرف انرژی می باشد.

در ساختمان های نوع ZEB که تعدادشان بسیار زیاد نیست ساختمان در یک منطقه دور دست که به شبکه برق رسانی نزدیک نیست ساخته شده است و تمام انرژی مورد نیاز ساختمان (از جمله برق) خود را با استفاده از انرژی خورشیدی تامین می نماید. در این ساختمان ها مساحت گیرنده های خورشیدی برای تولید برق و تولید انرژی های حرارتی و برودتی مورد نیاز ساختمان و همچنین حجم دستگاه های ذخیره سازی انواع انرژی ها بسیار بزرگ می باشند چون که سیستم های خورشیدی باید بتوانند مثلاً در یک روز آفتابی آن قدر انرژی جمع آوری و ذخیره نمایند تا بتوانند نیاز انرژی های مختلف ساختمان را در روزهای ابری بعدی تامین نمایند. این ساختمان ها در طول سال مقدار زیادی انرژی تولید می کنند که برای آن مصرفی ندارند. در ساختمان های با انرژی شبکه صفر (ZNEB) ، ساختمان ها به شبکه برق رسانی شهری نزدیک هستند و ساختمان ها با این شبکه در طول سال داد و ستد برقی دارند. یعنی سیستم های خورشیدی طوری انتخاب شده اند که نیاز ساختمان را در روزهای آفتابی (و تا اندازه کمی در روزهای ابری) برآورده نمایند و نیاز روزهای ابری متوالی را با استفاده از شبکه برق شهری (خرید برق از شبکه) تامین کنند. در روزهای آفتابی (به ویژه در تابستان) سیستم خورشیدی برق اضافی تولید می کند ولی می تواند این مازاد را به شبکه برق شهری بفروشد. این داد و ستدهای برقی در طول یک سال برابر بوده و بنابراین این ساختمان به طور خالص برقی از شبکه برق شهری دریافت نمی کند. در این نوع ساختمان ها چون انداره گردآورنده های خورشیدی و ذخیره سازی برق یا انرژی حرارتی کوچکتر از ساختمان های مشابه نوع اول می باشند بنابراین هزینه اولیه تاسیسات خورشیدی در این ساختمان ها کمتر از ساختمان هایی است که با شبکه برق شهری داد و ستد نداشته و مجبور هستند که تمام انرژی مورد نیاز خود را با استفاده از انرژی خورشیدی خود تامین کنند. در مرجع[۵] مسئله‌طراحی یک ساختمان با انرژی صفر از دیدگاه‌مسائل اقتصادی با استفاده‌از نرم افزار HOMER انجام شده‌است. سیستم مورد نظر از منابع تجدیدپذیر بادی و خورشیدی تشکیل شده‌است. در مرجع[۶] نیز موضوع اتصال خودروهای برقی و منابع تجدیدپذیر به ساختمان‌های هوشمند مطرح

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.3.6]

شده‌است. در این مرجع مسئله مدیریت توان بین ساختمان و خودروهای برقی شارژ شده‌در نظر گرفته‌شده‌است. یک ویژگی مهم در این مرجع این است که مدیریت انرژی مصرفی برای‌هر کاربر و اختصاص هزینه‌های متناظر برای آنها می‌باشد. در مرجع[۷] نیز به بررسی اتصال خودروهای برقی (PEV) به یک ساختمان اداری پرداخته‌شده‌است. هدف این تحقیق تامین بار ساختمان با در نظر گرفتن قیدهای موجود در شارژ و دشارژ خودروها می‌باشد. ولی بحث اتصال به شبکه منابع تجدیدپذیر لحاظ نشده‌است. در مرجع[۸] به تحلیل و بررسی نقش خودروهای برقی و هیبریدی به عنوان ذخیره‌سازهای انرژی توزیع شده برای اتصال به ساختمانها در یک شبکه هوشمند پرداخته‌شده‌است. در این مقاله مزیتهای این نوع از خودروها به عنوان ذخیره‌ساز انرژی به منظور مدیریت سمت تقاضا و مدیریت قطعی ارائه‌شده‌است. در مرجع [۹] به بررسی و نقش منابع تجدیدپذیر به منظور نزدیک شدن به مفهوم ساختمانها با انرژی صفر پرداخته‌شده‌است. کار تحقیقاتی انجام شده در این مقاله به تحلیل ترکیبهای مختلف منابع انرژی به منظور دستیابی به مفهوم انرژی صفر در ساختمان پرداخته‌است. براساس تحلیل انجام شده، یک ترکیب از سیستم زمین گرمایی و سیستم تبدل انرژی خورشیدی می‌تواند ترکیب مناسبی برای دستیابی به این هدف باشد. در مرجع [۱۰] موضوع اتصال ساختمانهای هوشمند به شبکه های توزیع مطرح شده‌است. منبع انرژی در نظر گرفته‌شده در این ساختار بر پایه صفحات خورشیدی می‌باشد. آنچه‌در این مقاله به آن پرداخته‌شده‌است استراتژی تعادل توان در ساختار اتصال به شبکه هوشمند با هدف کاهش توان پیک شبکه، جلوگیری از تزریق توان غیر ضروی به شبکه و استفاده بهینه از منابع خورشیدی می‌باشد. برای لحاظ کردن مسئله مدیریت انرژی در این مقاله شاخصهایی چون تعرفه‌های متغیّر شبکه، محدودیتهای دسترسی به شبکه، ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی، بار و صفحات خورشیدی در نظر گرفته‌شده‌است.

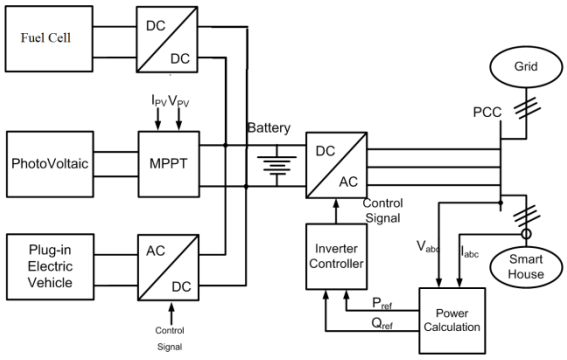
۳- مدلسازی اجزاء تشکیل دهنده در ساختمان با انرژی صفر

ساختار استفاده شده در این مقاله برای ساختمان با انرژی صفر شامل صفحات خورشیدی، پیل سوختی و باطری به عنوان منابع تولید و خودرو برقی و دیگر بارهای مصرفی می باشد.

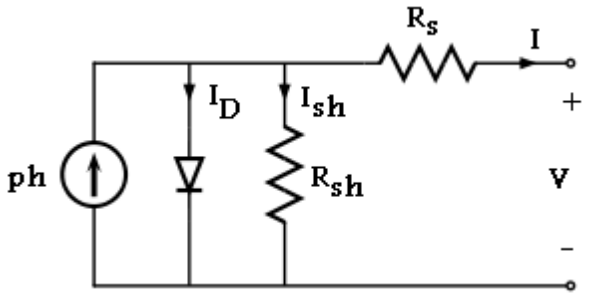
در شکل(۱) این ساختار نمایش داده می شود. همانطور که مشاهده می شود منابع تولید از طریق مبدلهای الکترونیک قدرت به شبکه و ساختمان متصل می شود. در ادامه به بررسی مدلهای ریاضی هر یک از اجزاء پرداخته می شود.

۳-۱- مدل ریاضی صفحات خورشیدی

مدار معادل یک سلول PV در شکل (۲) نشان داده شده است. این شامل یک منبع جریان، یک دیود، یک مقاومت سری و یک مقاومت شنت است [۱۱].



شکل(۱) ساختار ساختمان با انرژی صفر به همراه منابع تولید و خودرو برقی



شکل (۲) مدار معادل یک سلول PV

که در آن، جریان بار به صورت زیر است:

$$I = I_{ph} - I_s\left(\exp\frac{q(V+R_sI)}{NKT} - 1\right) - \frac{(V+R_sI)}{R_{sh}} \qquad (۱)$$

در این رابطه، I_{ph} جریان معادل از خورشید، I_s جریان اشباع معکوس دیود، q بار الکترون،V ولتاژ در سراسر دیود، K ثابت بولتزمن،T درجه حرارت محل اتصال، N عامل ایده آل بودن دیود، R_s و R_{sh} مقاومت سری و شنت سلول هستند. در نتیجه، رفتار کامل فیزیکی سلول PV از یک طرف با I_{ph}، I_s، R_s و R_{sh} و از سوی دیگر با دو پارامتر محیطی درجه حرارت و تابش خورشیدی در رابطه است.

۳-۲- مدل ریاضی پیل سوختی

مدل ارائه شده در این مقاله براساس مدل استفاده شده در [۱۲] می‌باشد که در محیط نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده است. رابطه (۲) ولتاژ پیل سوختی را بر حسب پارامترهای موجود در مدل نشان می‌دهد:

$$V_{fc} = N_0(E_0 + \frac{RT}{2F}(\ln(\frac{P_{H_2}P_{O_2}^{0.5}}{P_{H_2O}})) - rI_{f0} \qquad (۲)$$

که در آن P_{H2}، P_{H2O} و P_{O2} توسط رابطه (۳) مشخص می‌شوند:

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.3.6]

$$\dot{P}_{H_2} = -\frac{1}{t_{H_2}}(P_{H_2} + \frac{1}{K_{H_2}}(q_{H_2}^{in} - 2K_r I_{fc}))$$
$$\dot{P}_{H_2O} = -\frac{1}{t_{H_2O}}(P_{H_2O} + \frac{2}{K_{H_2O}}K_r I_{fc})) \qquad (۳)$$
$$\dot{P}_{O_2} = -\frac{1}{t_{O_2}}(P_{O_2} + \frac{1}{K_{O_2}}(q_{O_2}^{in} - K_r I_{fc}))$$

ثابت K_r که توسط رابطه (۴) مشخص می‌شود نشان‌دهنده ارتباط بین هیدروژن واکنشی و جریان پیل سوختی می‌باشد.

$$q_{H_2}^{r} = \frac{N_0 I}{2F} = 2K_r I \qquad (۴)$$

متغیر مهم دیگری که در عملکرد پیل سوختی نقش بسیار مهمّی را ایفا می‌کند، ضریب بهره برداری واکنش می‌باشد که با U_f نشان داده می‌شود. این پارامتر معرف مقدار سوختی است که در واکنش شیمیایی واکنش نشان می‌دهد که از رابطه (۵) بدست می‌آید.

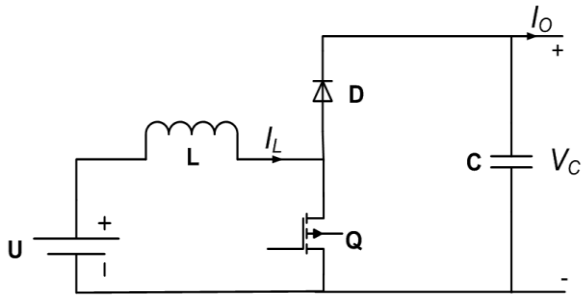
$$U_f = \frac{q_{H_2}^{in} - q_{H_2}^{out}}{q_{H_2}^{in}} = \frac{q_{H_2}^{r}}{q_{H_2}^{in}} \qquad (۵)$$

برای بهره‌برداری بهینه از پیل سوختی، مقدار ضریب بهره‌برداری بالاتر مطلوب می‌باشد که این مقدار حدود 0.8-0.9 می‌باشد [۱۳].

۳-۳- مدلسازی مبدل DC-DC افزاینده

شکل (۳) مدل مداری مبدل DC/DC را نشان می‌دهد [۱۲]. معادلات دینامیکی این مبدل به صورت زیر است:

$$\dot{i}_L = -\frac{R}{L}i_L - \left(\frac{1-d}{L}\right)v_C + \frac{U}{L}$$
$$\dot{v}_C = \left(\frac{1-d}{C}\right)i_L - \frac{i_O}{C} \qquad (۶)$$
$$y = v_C$$

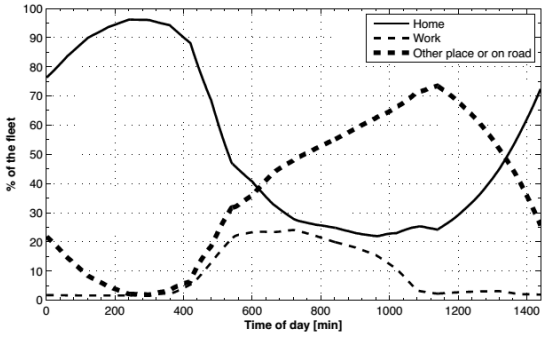


شکل (۳): مدار معادل مبدل DC/DC افزاینده

که در آن i_L جریان سلف، v_C ولتاژ خازن، i_O جریان خروجی، U ولتاژ ورودی، R مقاومت سلف، L اندوکتانس سلف و d سیکل وظیفه سوئیچ قدرت می‌باشد.

۳-۴- مدلسازی خودرو الکتریکی

از دید شبکه الکتریکی مهمترین بخش یک خودرو الکتریکی قسمت ذخیره‌سازی آن است. جهت تبادل توان میان خودرو و شبکه نیاز به یک مبدل دوطرفه نیز می‌باشد. لذا برای مدلسازی خودرو الکتریکی تنها از یک باتری و یک مبدل دوطرفه استفاده شده است [۱۴]. برای این منظور، در این مقاله برای نشان دادن رفتار شارژ خودرو برقی از مدل موجود در مرجع [۱۵] استفاده شده است. در این مدل، براساس رفتار آماری خودروهای برقی در محیط های خانگی و کاری و دیگر مکانها، میانگین دسترس پذیری در طول یک روز از ناوگان حمل و نقل Felmish به صورت شکل (۴) در نظر گرفته شده است. همانطور که مشاهده می شود، در طول غروب و شب، بیشتر خودروها در خانه هتن و بیشترین مصرف برای شارژ باطری خودرو نیز در این زمان اتفاق می افتد. در حالیکه در طول روز، بطور میانگین ٪۴۰-٪۲۵ خودرو در خانه هستند. لذا ضروری می باشد تا هماهنگ سازی شارژ خودروهای برقی هنگامی که منابع تجدیدپذیر استفاده می شوند، بکار گرفته شود تا بتوان از ظرفیت شبکه توزیع به خوبی استفاده نمود. در این مقاله، هدف بررسی تاثیر ورود و خروج خودرو برقی بطور تصادفی بر عملکرد سیستم مدیریت توان منابع تولید توان می باشد. لذا بطور تصادفی و با در نظر گرفتن حالت شارژ و دشارژ باطری خودرو برقی می باشد. در این حالت مدل شارژ خودرو بصورت یک بار تصادفی در نظر گرفته شده است و برای شبیه سازی آن از توابع موجود در نرم افزار MATLAB استفاده شده است.



شکل(۴) میانگین دسترس پذیری در طول یک روز از ناوگان حمل و نقل Felmish [۱۵]

۳-۵- مدلسازی باطری

از ذخیره ساز انرژی، با توجه به چگالی بالای انرژی آنها در هنگام شارژ و دشارژ، برای پوشش دینامیک کند پیل سوختی استفاده می‌شود. همچنین برای ذخیره مازاد توان تولیدی سیستم مورد نظر توسط توربین بادی و پیل سوختی، و نیز برای استفاده از انرژی ذخیره شده در آنها برای جبران کمبود توان مورد نیاز بار می‌توان از باتری‌ها استفاده کرد [۱۶] . در رابطه (۷) رابطه سطح شارژ باتریها نشان داده شده است.

$$SOC = \frac{Q_0 \pm \int i_{battery}\,dt}{Q_n} \qquad (۷)$$

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.3.6]

در این فرمول Q_0 سطح شارژ اولیه، Q_n ظرفیت باتری ها و i جریان باتری و SOC سطح شارژ باتری می باشد.

روابط (۸) و (۹) به ترتیب شارژ و دشارژ باتری‌ها را مدل می‌نماید.

$$f_1(i^{**},i^{*},i,Exp)=E_0-K.\frac{Q}{0.1Q+i^{**}}.i^{*}-K.\frac{Q}{Q-i^{**}}.i^{**} \quad (۸)$$
$$+Laplace^{-1}\left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)}.\frac{1}{s}\right)$$

$$f_2(i^{**},i^{*},i,Exp)=E_0-K.\frac{Q}{Q-i^{**}}.i^{*}-K.\frac{Q}{Q-i^{**}}.i^{**} \quad (۹)$$
$$+Laplace^{-1}\left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)}.0\right)$$

در این معادلات E_0 ولتاژ ثابت باتری (ولت)، Exp(s) دینامیک نمایی باتری (ولت)، *Sel(s)* نشان دهنده حالت باتری است که برابر 1 در زمان شارژ باتری و 0 در زمان دشارژ باتری، *K* مقاومت متقابل (اهم)، i^{*} دینامیک جریان فرکانس پایین (آمپر)، i^{**} ظرفیت خارج شده (آمپر ساعت)، i جریان باتری (آمپر) و *Q* ماکزیمم ظرفیت باتری می‌باشند.

۴- استراتژی کنترل مدیریت توان

طراحی یک استراتژی کنترلی مناسب برای هر سیستمی، مهمترین بخش مطالعات صورت گرفته بر روی آن سیستم می‌باشد. همواه هدف از کنترل هر سیستمی در راستای بهره‌برداری مناسب و اقتصادی از آن می‌باشد. بنابراین در طراحی کنترل‌کننده، بایستی تا حد امکان تمام مواردی که باعث بهبود عملکرد سیستم مورد مطالعه می‌شود را در نظر گرفته و به درستی بر روی سیستم اعمال شود. در این بخش ارائه یک استراتژی کنترلی با هدف مدیریت توان و بهره-برداری مناسب از سیستم مورد نظر بررسی می‌شود. در این سیستم عامل اصلی برای کنترل منابع انرژی، توان تولیدی صفحات خورشیدی، توان پیل سوختی و میزان بار می‌باشد. بدین صورت که زمانی که توان تولیدی صفحه خورشیدی بیش از توان مورد نیاز بار باشد، مازاد توان خورشیدی در ذخیره ساز انرژی ذخیره می‌شود و زمانی که توان تولیدی صفحه خورشیدی قادر به پوشش کامل بار نباشد، از پیل سوختی و ذخیره ساز انرژی برای پوشش توان بار استفاده می‌شود. در مورد پیل‌های سوختی لازم به ذکر است که راه‌اندازی پی در پی آنها باعث کاهش طول عمرشان می‌شود. همچنین راه‌اندازی پیل سوختی همراه با ثابت زمانی بالایی بوده و دارای دینامیک کندی برای رسیدن به حالت عملکرد پایدار می‌باشد. بنابراین برای جلوگیری از کاهش طول عمر پیل‌سوختی و رفع اثرات دینامیک کند آن در زمان راه‌اندازی که باعث نارسایی‌هایی در تعادل توان بین تولید و مصرف می‌شود، همواره پیل را در حالت کار نگه می‌داریم. همین امر باعث افزایش قابلیت اطمینان در سیستم ترکیبی فوق در عدم از دست دادن بخشی از بار در زمان نیاز به توان پیل سوختی می‌شود. روش کنترل پیل-سوختی برای دستیابی به اهداف فوق بدین صورت است که در زمانی که توان صفحات خورشیدی پاسخگوی توان مورد نیاز بار و یا بیش از توان مورد نیاز بار باشد، پیل سوختی در حال کار بوده و در این حالت توان تولیدی پیل سوختی در میزان مشخص و پایینی تنظیم می‌شود و از خاموش شدن آن جلوگیری می‌شود. حال مازاد توان تولیدی توسط صفحات خورشیدی و پیل سوختی در ذخیره ساز انرژی ذخیره می‌شود و در مواقع ضروری از انرژی ذخیره شده در باتری‌ها استفاده می شود.

می‌توان با توجه به توان تولیدی صفحات خورشیدی و خروجی کنترل کننده که تعیین کننده میزان مرجع توان تولیدی پیل سوختی می‌باشد، شارژ و دشارژ شدن باتری‌ها را کنترل نمود.

بدین منظور، توان تولیدی صفحات خورشیدی و توان تولیدی پیل سوختی را با یکدیگر جمع می‌کنیم و از مقدار توان مورد نیاز بار (PLoad) کم می‌کنیم (ΔP). حاصل این عبارت نشان دهنده نحوه عملکرد باتری‌ها در شارژ و یا دشارژشدن آنها می‌باشد. در صورتی که ΔP مثبت باشد، نشان دهنده این است که این مقدار توان باید توسط ذخیره ساز انرژی جذب شود که به معنای شارژ شدن باتری‌ها می-باشد؛ و در صورتی که ΔP منفی باشد، این مقدار توان باید توسط ذخیره ساز انرژی برای پوشش توان مورد نیاز بار تامین شود و به اصطلاح باتری‌ها در حالت دشارژ قرار می‌گیرند.

روابط (۱۰) و (۱۱) نشان دهنده این موضوع می‌باشند.

$$P_{gen}=P_{PV}+P_{FC} \quad (۱۰)$$
$$\Delta P=P_{gen}-P_{Load} \quad (۱۱)$$

در رابطه (۱۰) و (۱۱)، P_{PV} نشان دهنده توان تولیدی صفحات خورشیدی، P_{FC} توان تولیدی پیل سوختی و P_{Load} توان مورد نیاز بار می‌باشند.

در نهایت توان باتری‌ها به همراه توان‌های تولیدی صفحات خورشیدی و پیل سوختی باید با توان مورد نیاز بار تطابق داشته و کل بار بطور کامل پوشش داده شود (رابطه (۱۲)).

$$P_{PV}+P_{FC}+P_{PEV}=P_{Load} \quad (۱۲)$$

در رابطه (۱۲)، P_{PEV} نشان دهنده توان جذب شده و یا توان ارائه شده توسط باتری‌های خودرو برقی می‌باشد.

نکته دیگری که باید در طراحی قوانین کنترلی برای این سیستم در نظر گرفت و از درجه اهمیت بالایی برخوردار است، دقت در عدم تداخل عملکرد ذخیره ساز انرژی و پیل سوختی می‌باشد. منظور این است که قوانین لازم برای نحوه عملکرد پیل سوختی باید به گونه‌ای اتخاذ گردد که پیل‌سوختی در هر لحظه به اندازه مورد نیاز و در راستای عملکرد بهینه سیستم، توان تولید کند. بدین مفهوم که عملکرد پیل و ذخیره ساز انرژی مکمل یکدیگر باشند. یعنی زمانی که باتری‌ها در سطح مطلوبی از میزان انرژی ذخیره شده در خود قرار دارند و بر اثر بیشتر بودن توان تولیدی توربین نسبت به تقاضا در حال شاژ شدن می‌باشند، در این لحظه با توجه به اینکه تقاضا توسط توان تولیدی صفحات خورشیدی پوشش داده می‌شود، توان تولیدی پیل-سوختی باید کاهش یابد تا سوخت کمتری مصرف شود. و زمانی که

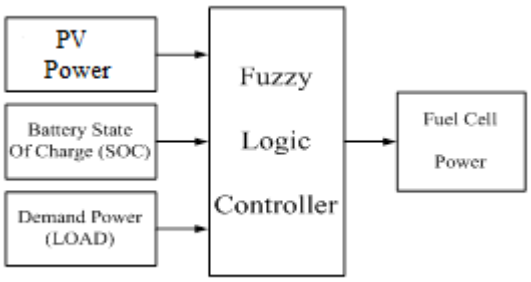
[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.3.6]

باتری‌ها بر اثر کمبود توان تولیدی توربین نسبت به میزان تقاضا در حال دشارژ شدن می‌باشند، در این لحظه پیل سوختی بایستی تا حد امکان توان تولیدی خود را افزایش دهد تا از تخلیه شدن بیش از حد باتری‌ها جلوگیری شود. البته در این مورد، بایستی به سطح شارژ باتری‌ها (SOC) نیز توجه شود.

۵- کنترل کننده پخش توان

در این مقاله از کنترل کننده فازی برای مدیریت بهینه توان استفاده شده است. کنترل کننده فازی قادر است علاوه بر عملکرد در شرایط تعیین شده برای کنترل کننده، در حالت‌های مابین نیز تصمیم مناسب را اتخاذ کرده و سیستم را کنترل کند [۱۷]. کنترل فازی مورد استفاده در این مقاله از نوع ممدانی بوده و گروههای فازی مورد استفاده برای تعیین قوانین کنترل‌کننده‌ها از نوع تابع گوسین می‌باشد. برای هر یک از ورودی‌های و خروجی مورد نظر، قوانین مورد نیاز را تعیین کرده و به کنترل کننده اعمال می‌کنیم. شکل (۵) نشان دهنده بلوک دیاگرام کنترل فازی اعمال شده بر سیستم مورد مطالعه می‌باشد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، مرجع توان تولیدی پیل سوختی به عنوان خروجی کنترل کننده می‌باشد. در ادامه قوانین فازی برای طراحی کنترل کننده آورده شده است.



شکل (۵) فلوچارت کنترل فازی

(1) Battery Charge Mode

Rule 1: if P_{PV} is Medium and P_{demand} is Low and SOC is Low and $P_{batt}(k-1)$ is Negative High and $P_{fc}(k-1)$ is Low then $P_{fc}(k)$ is Medium.

Rule 2: if P_{PV} is Medium and P_{demand} is Medium and SOC is Low Low and $P_{batt}(k-1)$ is Negative Medium and $P_{fc}(k-1)$ is Medium then $P_{fc}(k)$ High.

Rule 3: if P_{PV} is Medium and P_{demand} is Medium and SOC is Low and $P_{batt}(k-1)$ is Negative Low and $P_{fc}(k-1)$ is Medium then $P_{fc}(k)$ is High.

(2) Hybrid Mode

Rule 4: if P_{PV} is High and P_{demand} is Medium and SOC is High and $P_{batt}(k-1)$ is Low and $P_{fc}(k-1)$ is Low then $P_{fc}(k)$ is Medium.

Rule 5: if P_{PV} is High and P_{demand} is Medium and SOC is High and $P_{batt}(k-1)$ is Medium and $P_{fc}(k-1)$ is Medium then $P_{fc}(k)$ is Medium.

Rule 6: if P_{PV} is High and P_{demand} is Medium and SOC is High and $P_{batt}(k-1)$ is Medium and $P_{fc}(k-1)$ is Medium then $P_{fc}(k)$ is Low.

Rule 7: if P_{PV} is High and P_{demand} is High and SOC is High and $P_{batt}(k-1)$ is Low and $P_{fc}(k-1)$ is Medium then $P_{fc}(k)$ is High.

Rule 8: if P_{PV} is High and P_{demand} is High and SOC is High and $P_{batt}(k-1)$ is Medium and $P_{fc}(k-1)$ is Low then $P_{fc}(k)$ is Medium.

Rule 9: if P_{PV} is High and P_{demand} is High and SOC is High and $P_{batt}(k-1)$ is Medium and $P_{fc}(k-1)$ is High then $P_{fc}(k)$ is Medium.

Rule 10: if P_{PV} is High and P_{demand} is High and SOC is High and $P_{batt}(k-1)$ is High and $P_{fc}(k-1)$ is Medium then $P_{fc}(k)$ is Low.

Rule 11: if P_{PV} is High and P_{demand} is High and SOC is Low and $P_{batt}(k-1)$ is Low and $P_{fc}(k-1)$ is Medium then $P_{fc}(k)$ is High.

(3) Battery Operation Mode

Rule 12: if P_{PV} is High and P_{demand} is Low and SOC is High then $P_{fc}(k)$ is Zero.

۶- نتایج شبیه سازی

در این بخش نتایج حاصل از شبیه سازی سیستم و اعمال کنترل کننده، تحت شرایط عملکردی مختلف مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج حاصل از شبیه سازی، کارآمد بودن کنترل کننده اعمال شده بر روی سیستم مورد نظر، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این قسمت ابتدا مشخصه‌ی نور خورشید بر حسب زمان در طی یک شبانه روز را با کمک Signal Builder در قسمت Simulink تعریف می شود و به عنوان ورودی به سلول‌های خورشیدی داده می شود. پارمترهای شبیه سازی براساس مراجع [۱۳-۱۲] می باشد. در جدول (۱) پارامترهای مورد نیاز برای شبیه سازی آورده شده است.

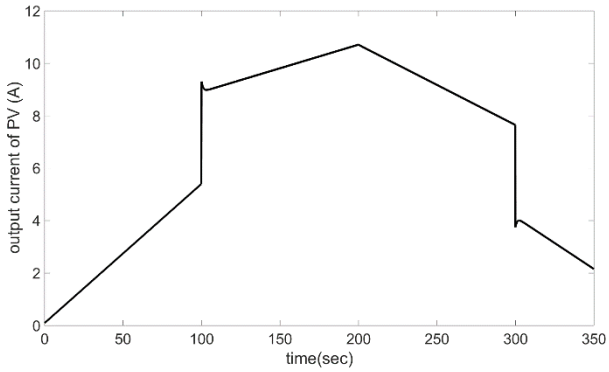
جدول (۱) پارامترهای موردنیاز برای شبیه سازی

پارامترهای مورد نیاز برای شبیه سازی	
توان نامی پیل سوختی	100 kW
ولتاژ نامی پیل سوختی (هر استک)	50V
توان نامی آرایه های خورشیدی	3 kW
ظرفیت نامی باطری	100 A.h
ولتاژ نامی باطری (هر سلول)	50V
ولتاژ نامی آرایه خورشیدی	25V
ولتاژ نامی مبدل DC-DC	200V/650V
ولتاژ نامی مبدل DC-AC	400 V
ولتاژ نامی شبکه	400 V
مقاومت معادل شبکه	0.15Ω
اندوکتانس معادل شبکه	6.15mH

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-10-12]

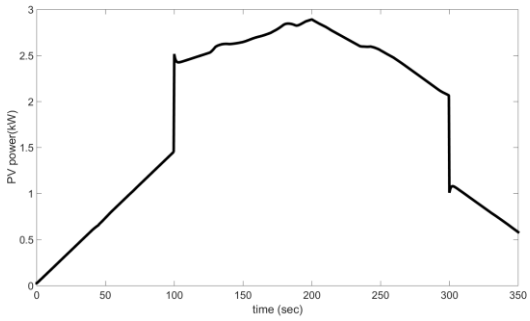
[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.3.6]

در ادامه در شکل (۶) جریان خروجی صفحه خورشیدی بر حسب میزان تابش مشاهده می شود.

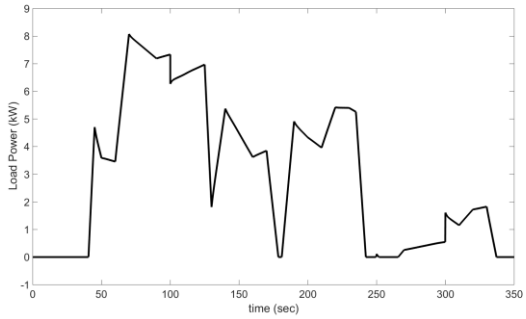


شکل (۶) جریان خروجی صفحه خورشیدی بر حسب میزان تابش

همانطور که از نمودار (۷) مشاهده می شود توانی که توسط آرایه‌ی خورشیدی تولید می‌شود. در شکل (۸) توان درخواستی از سوی ساختمان نشان داده شده است. این بار بصورت فرضی در نظر گرفته شده است و سعی گردیده است تا تغییراتی دراین بار وجود داشته باشد تا بتوان تغییرات متغیّرهای مختلف را تحلیل نمود.

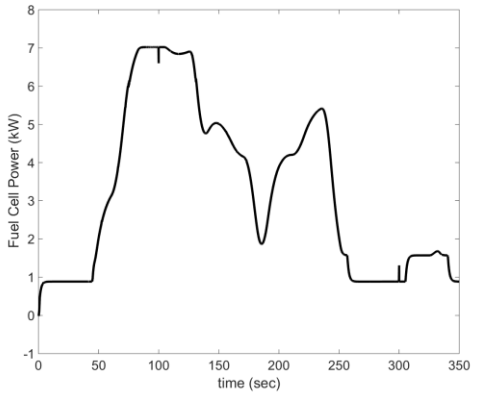


شکل (۷) توان خروجی سلول خورشیدی



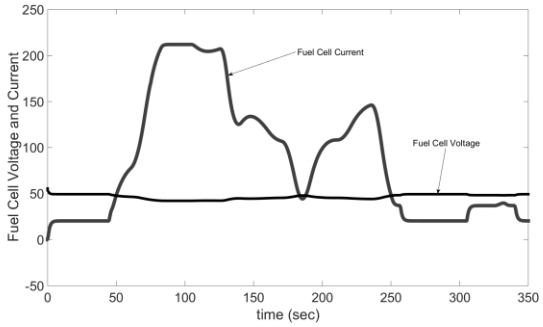
شکل (۸) توان در خواستی از سوی بار ساختمان

به منظور صحه گذاری بر استراتژی کنترل مطرح شده شبیه سازی به منظور کنترل توان انجام شده است. در شکل (۹) توان خروجی پیل سوختی نشان داده شده است.



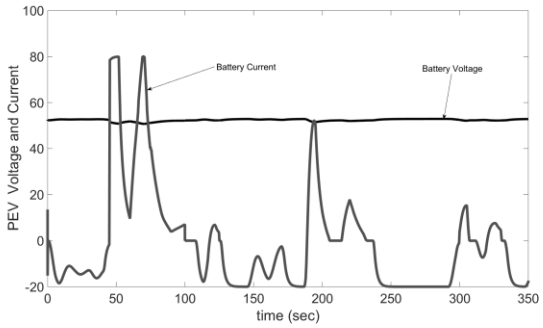
شکل(۹) توان خروجی پیل سوختی

همانطور که در شکل(۹) نشان داده شده است هنگام تغییرات توان اکتیو در خواستی از طرف بار، سیستم کنترل پیشنهادی به خوبی توانسته است توان خروجی پیل سوختی در محدوده مناسب و با آهنگ ملایم تغییر دهد. این تغییرات آرام در توان خروجی پیل سوختی باعث افزایش طول عمر آن می گردد. در این حالت تغییرات جریان و ولتاژ پیل سوختی در شکل (۱۰) نمایش داده می شود.



شکل (۹) تغییرات جریان و ولتاژ پیل سوختی

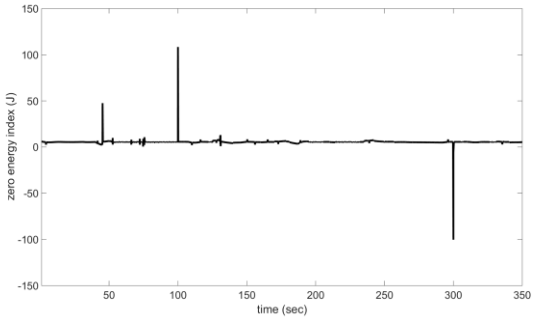
در شکل (۱۰) تغییرات ولتاژ و جریان باطری خودرو برقی متصل به شبکه نشان داده است. در این حالت فرض شده است که خودرو برقی به صورت هماهنگ به شبکه و ساختمان متصل شده است.



شکل (۱۰) تغییرات جریان و ولتاژ باطری خودرو برقی

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-10-12]

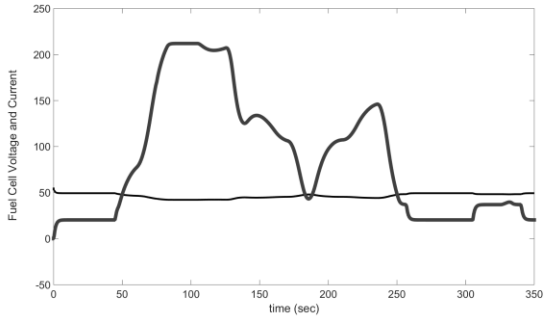
[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.3.6]



شکل (۱۱) شاخص انرژی صفر

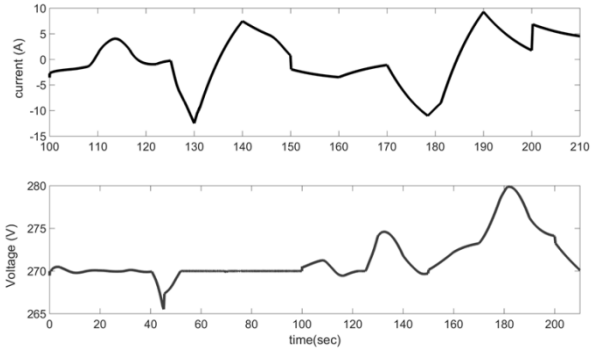
به منظور نشان دادن شاخص انرژی صفر در ساختمان، میزان تعادل انرژی بین بخش تولید و مصرف در شکل (۱۱) نشان داده شده است. این شاخص براساس میزان انرژی جذب شده در بخش DC بدست آمده است. همانطور که مشاهده می گردد، استراتژی کنترل پیشنهادی به خوبی توانسته است، تعادل انرژی را ساختمان بین تولید کننده ها و مصرف کننده برقرار نماید.

براساس نتایج استخراج شده، با پیاده سازی استراتژی مدیریت انرژی پیشنهادی می توان کنترل پذیری و هماهنگی بهتری را بر روی خودروهای برقی و پیل سوختی ایجاد نمود. در واقع از ویژگیهای طرح پیشنهادی می توان عمکلرد بهتر باطری خودرو های برقی را اذعان کرد که باعث افزایش طول عمر آنها می گردد. ولی با توجه به اینکه ورود و خروج خودروهای برقی ممکن است بطور ناهماهنگ باشد، لذا در ادامه فرض شده است که خودرو برقی بصورت تصادفی در ثانیه از شبکه خارج و در ثانیه وارد شبکه می شود. در این حالت تغییرات جریان و ولتاژ پیل سوختی در شکل(۱۲) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، استراتژی کنترل به خوبی توانسته است ولتاژ و جریان پیل سوختی را کنترل نماید.



شکل (۱۲) تغییرات جریان و ولتاژ پیل سوختی در حین خروج خودرو برقی

این نکته قابل توجه می باشد که در لحظه ورود و خروج خودرو برقی جریان و ولتاژ پیل سوختی بدون تغییر می ماند. با توجه به اینکه در این لحظه، خروج خودرو برقی به عنوان یک اغتشاش در سیستم ترکیبی تولید توان می باشد، باطری موجود در لینک DC به خوبی پایداری سیستم را حین اغتشاش حفظ می نماید. در شکل (۱۳) جریان و ولتاژ باطری نشان داده شده است.



شکل (۱۳) تغییرات جریان و ولتاژ باطری لینک DC در حین خروج خودرو برقی

۷- نتیجه گیری

در این مقاله، مدیریت انرژی در یک ساختمان با انرژی صفر با حضور منابع تجدیدپذیر خورشیدی، پیل سوختی و خودرو الکتریکی ارائه می شود. برای این منظور ابتدا توسط مدلهای ریاضی برای هریک از منابع تولید و مبدلهای الکترونیک قدرت، سیستم تولید توان ترکیبی با در نظر گرفتن بار ساختمان شبیه سازی می گردد. در ادامه با طراحی یک استراتژی مدیریت توان هوشمند به منظور دستیابی به توان مناسب برای هر یک از منابع، سهم تولید توان هر یک مشخص می گردد. از ویژگیهای بارز این کار تحقیقاتی می توان به برنامه ریزی هماهنگ خودرو برق برای پوشش دادن بار ساختمان اشاره کرد. به منظور صحه گذاری بر عملکرد استراتژی مدیریت توان پیشنهادی، شبیه سازی در محیط نرم افزار **MATLAB** انجام شده است. این نتایج نشان می دهد که مدیریت توان پیشنهادی قادر است تا شاخص انرژی صفر را در ساختمان پیاده سازی نماید. براساس نتایج استخراج شده، با پیاده سازی استراتژی مدیریت انرژی پیشنهادی می توان کنترل پذیری و هماهنگی بهتری را بر روی خودروهای برقی و پیل سوختی ایجاد نمود. در واقع از ویژگیهای طرح پیشنهادی می توان عمکلرد بهتر باطری خودرو های برقی را اذعان کرد که باعث افزایش طول عمر آنها می گردد.

مراجع

[1] H. Hens And A. Janssens, Building, Living And Energy In Energy Today And Tomorrow. Leuven: ACCO, 2006, Pp. 133–151.

[2] G.R.K.D.Satya Prasad, K. Vijaya Kumar Reddy, Ch. Saibabu "Integration Of Renewable Energy Sources In Zero Energy Buildings With Economical And Environmental Aspects By Using Homer", International Journal Of Advanced Engineering Sciences And Technologies, Vol No. 9, Issue No. 2, 212 – 217.

[3] A. Dimeas & N. Hatziargyriou, "Operation Of A Multiagent System For Microgrid Control", IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 20, No. 3,Aug. 2005.

[4] Zhu Wang, Lingfeng Wang, Anastasios Dounis, Rui Yang,

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.3.6]

"Integration Of Plug-In Hybrid Electric Vehicles Into Energy And Comfort Management For Smart Building", Journal Of Energy And Buildings, Vol.47, 260-266, 2012.

[5] A. Bedir, B. Ozpineci, J. E. Christian, "The Impact Of Plug-In Hybrid Electric Vehicle Interaction With Energy Storage And Solar Panels On The Grid For A Zero Energy House", 2010 IEEE.

[6] J. F. Martins, V. Fernão Pires, Luis Gomes, O. Páscoa Dias, "Plug-In Electric Vehicles Integration With Renewable Energy Building Facility – Building/Vehicle Interface", IEEE POWERENG 2009.

[7] A. Bedir, B. Ozpineci, J. E. Christian, "The Impact Of Plug-In Hybrid Electric Vehicle Interaction With Energy Storage And Solar Panels On The Grid For A Zero Energy House", IEEE 2010.

[8] Zhu Wang, Lingfeng Wang, Anastasios I. Dounis, And Rui Yang, "Integration Of Plug-In Hybrid Electric Vehicles Into Building Energy Management System", 2011 IEEE.

[9] R. Baetens, R. De Coninck, J. Van Roy, B. Verbruggen, J. Driesen, L. Helsen, D. Saelens, "Assessing Electrical Bottlenecks At Feeder Level For Residential Net Zero-Energy Buildings By Integrated System Simulation", Journal Of Applied Energy, Vol.96, 74-83, 2012.

[10] C. Pang, P.Dutta, M. Kezunovic, "Bevs/Phevs As Dispersed Energy Storage For V2b Uses In The Smart Grid", Ieee Transactions On Smart Grid, Vol. 3, No. 1, March 2012.

[11] Ahmed Mohamed Refaat Azmy, "Simulation And Management Of Distributed Generation Units Using Intelligent Techniques", Phd Dissertation, Universitat Duisburg-Essen, January 2005.

[12] Amin Hajizadeh, Masoud Aliakbar Golkar, "Intelligent Power Management Strategy of hybrid Distributed Generation System", International Journal of Electrical Power and Energy Systems 29 (2007) 783–795.

[13] Amin Hajizadeh, Masoud Aliakbar Golkar, "Control of Hybrid Fuel Cell/Energy Storage Distributed Generation System against Voltage Sag", International Journal of Electric Power and Energy Systems, 32 (2010) 488-497.

[14] Vinzenz V. Haerri, Roman Loetscher, "Living & Mobility: Assessment Of V2g, V2h And Stationary Storage Concepts For Todays And Future Applications", In Proc. 2012 IEEE International Energy Conference Energycon, Florence, 9-12 September 2012.

[15] J. Van Roy, N. Leemput, S. De Breucker, F. Geth, P. Tant, and J. Driesen, "An Availability Analysis and Energy Consumption Model for a Flemish Fleet of Electric Vehicles," in European Electric Vehicle Congress (EEVC), Brussels, Belgium, October 26-28, 2011.

[16] M.Nayeripour, M.Hoseintabar,T.Niknamand J. Adabi. (2010) "Power management, dynamic modeling and control of wind/FC/battery-bank based hybrid power generation system for stand-alone application" Euro. Trans. Electr. Power 20 pp 1–22.

[17] H. Zhang, A. Davigny, F. Colas, Y. Poste, B. Robyns, Fuzzy Logic Based Energy Management Strategy For Commercial Buildings Integrating Photovoltaic And Storage Systems, Energy And Buildings 54 (2012) 196–206.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.3.6]