

بررسی تاثیر پارکینگ‌های هوشمند بر تامین توان راکتیو در شبکه‌های هوشمند با نیروگاه بادی بر اساس کنترل کننده غیرخطی مدلغزشی

مهدی دارابی^۱، دانشجوی کارشناسی ارشد، سعید ابازری^۲، استادیار، جعفر سلطانی^۳، استاد

۱ و ۲- دانشکده مهندسی - دانشگاه شهرکرد - شهرکرد - ایران - abazari-s@eng.sku.ac.ir^۲، darabi1366@yahoo.com^۱

۳- دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر - خمینی شهر - ایران - jsoltani@yahoo.com

چکیده: در شبکه‌های هوشمند، چگونگی مدیریت انرژی ذخیره شده در پارکینگ‌های هوشمند می‌تواند منجر به ارائه سرویس‌های مختلفی، در دو حوزه توان اکتیو و راکتیو، در راستای بهبود وضعیت شبکه گردد. از سویی دیگر با افزایش استفاده از منابع تولید پراکنده مانند نیروگاه‌های بادی و نیز به منظور بالابردن قابلیت اطمینان این نوع از تولیدات، حل مشکلات آن‌ها به ویژه در حالت‌های گذرا نیز از اهم موضوعات در حوزه توان راکتیو در شبکه‌های هوشمند به حساب می‌آید. لذا به منظور بهره‌وری هرچه بهتر پارکینگ‌ها، انتخاب کنترل کننده‌ای مناسب و مقاوم در شرایط مختلف شبکه، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در این مقاله استفاده از کنترل کننده مدلغزشی به منظور کنترل پارکینگ‌ها در حوزه توان راکتیو، پیشنهاد و دست‌یابی به اهداف بهبود پروفیل ولتاژ و بهبود عملکرد نیروگاه بادی در حالت گذرا با استفاده از این روش کنترلی پیگیری شده است. روش کنترلی پیشنهادی بر روی شبکه استاندارد IEEE-9 Bus شبیه‌سازی شده و میزان دست‌یابی به اهداف مورد نظر در بهره‌وری پارکینگ‌ها در حوزه توان راکتیو مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی این روش کنترلی نه تنها ردیابی مناسب اهداف کنترلی در شرایط طبیعی شبکه، بلکه مقاوم بودن پارکینگ‌ها را در حالات گذرا و تحت شرایط به وجود آمدن تغییرات پارامتریک در سیستم مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: شبکه هوشمند، خودروی برقی، پارکینگ هوشمند، نیروگاه بادی، ژنراتور القایی دوسو تغذیه، کنترل کننده مدلغزشی

Investigate the effect of smartparks on the provision of reactive power in smart grids with wind power plant based on nonlinear sliding mode controller

Mehdi Darabi¹, Saeed Abazari², Jafar Soltani³

1, 2- Faculty of Engineering, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran.

3- Islamic Azad University, Branch of Khomeini Shahr, Khomeini Shahr, Iran.

Abstract: In Smart grids, how to manage the energy stored in the smart parking can lead to a variety of service for improvement the network status in both active and reactive power provisions. On the other hand, increasing the use of distributed generation sources like wind power plants, makes solving their problems (specially in the transient state) be very important issues in the reactive power provision of the smart grids. Therefore, in order to improve the efficiency of SmartParks, the selection of an appropriate and robust controller for various network conditions is very important. In this paper, a sliding mode controller is proposed to control the SmartPark on the provision of reactive power. The improvement of the voltage profile and also the improvement of the wind power performance in the transient condition is investigated by using the proposed control method. The proposed control method, is simulated on the standard IEEE-9 Bus network and productivity of smartParks in the reactive power provision is studied. simulation results show the desired goals can be achieved in natural condition of the network and show the robustness of SmartParks in the both transient state and in the parameter changing of the network.

Keywords: Smart grid, Electrical vehicle, SmartPark, Wind turbine, Doubly fed induction generation, Sliding mode controller.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۶

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۳/۳/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۳/۲۸

نام نویسنده مسئول: مهدی دارابی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - شهرکرد - دانشگاه شهرکرد - دانشکده فنی و مهندسی - گروه مهندسی برق

۱- مقدمه

هوشمندسازی شبکه با استفاده از تکنولوژی دیجیتال برای کنترل شبکه و انتخاب بهترین حالت پخش توان، باعث کاهش مصرف انرژی، کاهش هزینه‌ها، افزایش قابلیت اطمینان و هم‌چنین شفاف‌سازی در شبکه می‌شود. در یک نگاه دیگر، شبکه هوشمند راهکاری برای حل چالش‌های شبکه کنونی که در مثلث شکل (۱) اشاره می‌شود ارائه می‌کند؛ چالش‌های قابلیت اطمینان، چالش‌های زیست‌محیطی و چالش‌های اقتصادی و بازدهی انرژی [۹-۶].



شکل (۱): موضوعات پیش روی شبکه هوشمند

در سال‌های اخیر با توجه به افزایش آلودگی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و کمبود سوخت‌های فسیلی و کم بودن بازده خودروهای سنتی، در کنار افزایش استفاده از منابع تولید پراکنده، استفاده از خودروهای برقی^۲ نیز مورد توجه قرار گرفته است [۱۰]. این تجهیزات که قابلیت عملکرد در ساختار شبکه هوشمند را دارا هستند، در جدیدترین نوع آن‌ها، قابلیت شارژ و فروش انرژی خود از طریق اتصال به شبکه را نیز دارند [۱۱]. به عبارت دیگر خودروهای با قابلیت اتصال به شبکه، هم می‌توانند نقش یک بار مدیریت‌پذیر و هم نقش یک ژنراتور با قابلیت راه‌اندازی سریع را داشته باشند و به همین دلیل می‌توانند نقش آفرینی مناسبی در راستای اهداف شبکه هوشمند، که در بخشی قابل توجهی از این اهداف با اهداف استفاده از تولیدات پراکنده مشترک هستند، داشته باشند [۱۲]. از جمله این تاثیرات مثبت می‌توان به پیک‌سایی، جابه‌جایی بار، پرکردن دره‌های بار و غیره اشاره نمود [۱۶-۱۳] که بیش‌تر مطالعات انجام‌شده بر روی تاثیر خودروهای برقی (با قابلیت اتصال به شبکه) بر روی شبکه قدرت مربوط به حوزه توان اکتیو بوده است. از جمله این تاثیرات (در حوزه توان اکتیو) که در شبکه‌های قدرت شامل نیروگاه بادی بررسی می‌شود، به‌کارگیری بهینه منابع تولیدات پراکنده با استفاده از این خودروها است. بدین صورت که در طول شب که بار شبکه کاهش پیدا می‌کند و عموماً وزش باد و در نتیجه میزان انرژی الکتریکی نیروگاه‌های بادی افزایش می‌یابد، این خودروها از طریق این نوع از تولیدات پراکنده شارژ شده و در طول روز که بار شبکه افزایش یافته و در بعضی ساعات در بیش‌ترین مقدار خود قرار می‌گیرد، انرژی ذخیره‌شده در این خودروها به شبکه تزریق می‌شود که موجب پیک‌سایی و جلوگیری از آسیب‌های جدی به شبکه می‌شود. هم‌چنین بایستی توجه نمود که اگرچه اتصال هر خودرو برقی به شبکه تغییری جز یک نويز کوچک نمی‌تواند در شبکه ایجاد کند اما

شبکه برق در تمامی سطوح یکی از پیچیده‌ترین و گسترده‌ترین سیستم‌های ساخته دست بشر است، که همواره قابلیت اطمینانی بالا از آن مورد انتظار است. با رشد مصرف برق در جوامع و به‌تبع آن پربارتر شدن شبکه قدرت، متولیان سیستم‌های قدرت، همواره یک رویه را برای پیشرفت شبکه پیش گرفته‌اند و آن گسترش ابعاد شبکه بوده است. با شروع تجدید ساختار در صنعت برق و خصوصی‌شدن بخش‌های مختلف این صنعت، صاحبان بخش‌های مختلف شبکه برای بیش‌تر شدن بهره‌وری و سود خود، بار روی خطوط انتقال و تولید نیروگاه‌ها را بیش‌تر کرده‌اند که در نتیجه باعث کم‌تر شدن رزرو و حاشیه امنیت سیستم شده است [۱]. از طرفی شرکت‌های برق، سمت مصرف را همواره به عنوان عامل پیش‌برنده و غیرقابل تغییر نگریسته‌اند. این رویه باعث شده است که مصرف‌کنندگان برای مصرف برق به‌عنوان یک کالا، بر خلاف دیگر کالاها، توجه اقتصادی را در نظر نگیرند. به‌علاوه سوخت‌های فسیلی اکنون به‌عنوان عمده‌ترین منبع تامین انرژی در جهان شناخته می‌شوند، در نتیجه امروزه دنیا به‌سوی تولید انرژی از منابع پایدارتر و دوستدار محیط‌زیست حرکت می‌کند. تقاضای روزافزون انرژی در اقتصادهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، کمبود منابع در کشورهای در حال توسعه، محدودیت‌های محیطی و کمبود فضا در کشورهای توسعه‌یافته جهت ساخت نیروگاه و شبکه انتقال و توزیع جدید، روبرو شدن برخی کشورهای توسعه‌یافته با کمبود تولید برق و ملاحظات در مورد گازهای گلخانه‌ای و تغییر شرایط جوی، این روند را به‌شدت تسریع نموده است [۲]. لذا منابع انرژی تجدیدپذیر مانند توربین‌های بادی، سلول‌های خورشیدی، نیروگاه زیست‌توده و میکروتوربین‌های ترکیبی برق و گرما و توربین‌های آبی از اجزای مهم سیستم تولید برق در آینده می‌باشند [۳]. با این وجود، گسترش منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند در شبکه مشکل آفرین باشد. برای مثال، به‌علت وزش متغیر باد در طول روز، میزان تولید توربین‌های بادی نیز متغیر خواهند بود و ممکن است توازن تولید و مصرف با دشواری روبرو شود. عدم تطابق تولید و مصرف نیازمند شرایط مناسب برای ذخیره انرژی و حتی کنترل مصرف‌کنندگان تا سطح وسایل برقی آن‌ها است. برای رسیدن به این اهداف، شبکه برق نیازمند بستر متشکل از فناوری‌های مخابراتی است تا بتوان اطلاعات هر قسمت شبکه از بخش تولید تا توزیع و حتی تک‌تک وسایل برقی مصرف‌کنندگان را با سرعت زیاد و به‌صورت On-Line دریافت کرده و به قسمت تحلیل داده‌ها ارسال نمود، تا در این مرکز داده‌ها برای ارائه برنامه مناسب جهت بهره‌برداری از واحدها، قطع و وصل خطوط، برنامه‌ریزی بارهای قابل کنترل و قطع و وصل بارهای قابل قطع مورد تحلیل قرار گیرند و سپس دستورالعمل‌های لازم توسط بستر مخابراتی موجود به بخش‌های مختلف شبکه ارسال شود [۴ و ۵] که به چنین شبکه‌هایی شبکه هوشمند^۱ می‌گویند.

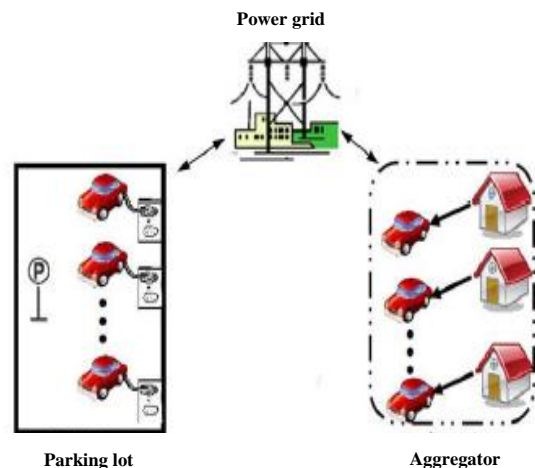
مطالعاتی که صورت پذیرفته تاثیر پارکینگ‌ها بر عملکرد شبکه در حالت کار طبیعی و گذرا بوده است [۱۸]. هدف اصلی این مطالعه همانندسازی تجهیزات هوشمند و STATCOM بوده است. روش کنترلی به کار رفته در STATCOM، DFIG و پارکینگ هوشمند بر اساس کنترل برداری بوده است. این روش مستلزم محاسبات پیچیده و طولانی است. در مطالعات دیگر تامین توان راکتیو توسط STATCOM در حالت کار طبیعی شبکه (به منظور بهبود پروفیل ولتاژ) و در حالت بروز خطای اتصال کوتاه (به منظور ایجاد قابلیت گذر از خطای DFIG) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند [۲۱-۱۹].

از آنجایی که ساخت و به کارگیری ادوات FACTS از هزینه بالا و نیز تکنولوژی ساخت پیچیده برخوردار است، لذا در این مقاله به منظور دستیابی به توابع حوزه توان راکتیو (بهبود پروفیل ولتاژ، آزادسازی ظرفیت خطوط، بهبود قابلیت گذر از خطای DFIG و غیره) به جای استفاده از ادوات FACTS موازی مانند STATCOM از پارکینگ‌های هوشمند استفاده شده است. چرا که با توجه به صنعتی شدن ساخت خودروهای برقی و تمایل شهروندان به استفاده از این خودروها (به دلیل فواید استفاده از خودروهای برقی مانند کاهش آلودگی و گازهای گلخانه‌ای و نیز امتیازات تشویقی که مدیران شبکه به استفاده از این خودروها به مشترکین می‌دهند) استفاده از این پارکینگ‌ها از هزینه تحمیلی به مدیران شبکه نسبت به حالتی که از ادوات FACTS استفاده می‌شود کم‌تر خواهد بود. کنترل برداری برای کنترل STATCOM، DFIG و پارکینگ هوشمند که دارای کنترل کننده PI است علاوه بر پیچیدگی پیاده‌سازی، در مقابل تغییرات پارامتریک شبکه که به دفعات هم رخ می‌دهد مقاوم نیست هم‌چنین تنظیم نمودن ضرایب کنترل کننده PI به آسانی صورت نمی‌پذیرد. لذا در این مقاله استفاده از کنترل کننده غیرخطی مدل‌غزشی که هم نیاز به تنظیم ضرایب ندارد و هم نسبت به تغییرات پارامتریک شبکه مقاوم است، در کنترل تجهیزات استفاده شده است. البته لازم به ذکر است که به منظور مقایسه هر چه بهتر نحوه عملکرد کنترل کننده پیشنهادی در این مقاله و کنترل کننده PI در حالات مختلف عملکرد سیستم، نتایج حاصل از پیاده‌سازی پارکینگ‌های هوشمند بر اساس کنترل کننده PI نیز ارائه شده است.

شبکه تست به منظور بررسی روش کنترلی پیشنهادی در این مقاله، شبکه استاندارد IEEE-9 Bus بوده و نیز شبیه‌سازی‌های انجام شده در بخش‌های مختلف و روش کنترلی پیشنهادی، با نرم‌افزار MATLAB/Simulink بوده است.

در ادامه، مدل الکتریکی، روابط ریاضی و روابط کنترل کننده مدل‌غزشی به منظور کنترل پارکینگ‌ها و مدل و روابط ریاضی حاکم بر سیستم مورد مطالعه پیاده‌سازی می‌گردد.

هنگامی که خودروها در تعداد زیاد و گروهی در کنار یکدیگر قرار گیرند، می‌توانند تاثیر قابل ملاحظه‌ای را در سیستم قدرت داشته باشند. در این صورت آن‌ها می‌توانند انواع مختلفی از سرویس‌ها را به شبکه ارائه دهند. برنامه زمان‌بندی شارژ و دشارژ خودروهای منفرد تا حد زیادی نامعین است و این امر باعث می‌شود که آن‌ها تا حد زیادی اثرگذاری مثبت یکدیگر را بر شبکه خنثی نمایند [۱۶]. بنابراین برای احتراز از این امر بایستی خودروها به صورت هماهنگ و هدفمند اقدام به شارژ و یا دشارژ نمایند. یعنی خودروها به صورت گروهی در کنار هم جمع شده و به صورت یک‌بار و یا یک مولد موثر، به شبکه متصل می‌شوند که یک ایده برای تجمع خودروها، استفاده از پارکینگ شهری، مجتمع‌های تجاری، مسکونی و صنعتی و غیره می‌باشد. ایده دیگری که برای دستیابی به تاثیرگذاری قابل توجه خودروها بر روی شبکه ارائه شده بدین صورت است که یک گروه از طریق یک جمع‌کننده به صورت یک خودرو متصل به شبکه یکپارچه با توانی در حدود مگاوات در بیابند تا بتوانند به عنوان تولیدکننده یا مصرف‌کننده بزرگ‌تر مورد استفاده قرار گیرند [۱۷]. در شکل (۲) مفهوم این دو ایده به صورت کلی نشان داده شده است.



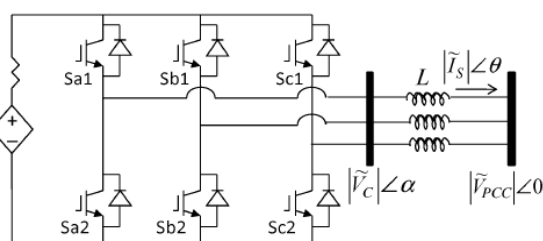
شکل (۲): تجمع خودروها توسط پارکینگ و یکپارچه‌سازها

اما از دیگر تاثیرات مهمی که خودروهای برقی می‌توانند بر روی شبکه قدرت داشته باشند و کم‌تر به آن پرداخته شده است، تامین توان راکتیو از طریق خودروهای یکپارچه شده است. به عبارت دیگر زمانی که این خودروها در حوزه توان اکتیو نقش‌آفرینی می‌کنند در واقع شارژ باتری این خودروها در حال تغییر (شارژ و دشارژ) است اما زمانی که از این خودروها در حوزه توان راکتیو استفاده می‌شود شارژ باتری آن‌ها تغییرات چندانی نخواهد داشت که این موضوع خود مزیت مهمی به حساب می‌آید. هنگامی که پارکینگ‌های هوشمند^۲ در تامین توان راکتیو به کار گرفته می‌شوند، در حقیقت این پارکینگ‌ها از دیدگاه شبکه مانند جبران‌سازهای دینامیکی توان راکتیو مانند ادوات FACTS^۱ موازی (نظیر STATCOM)^۳ به حساب می‌آیند. یکی از

۲- مدل الکتریکی و روابط ریاضی خودروهای برقی

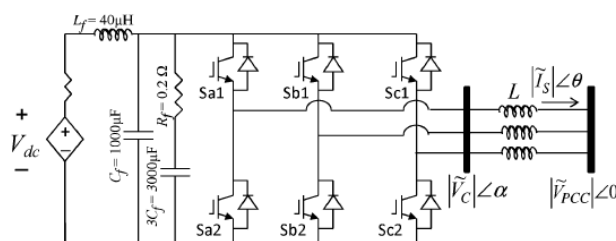
همان‌طور که در بخش قبلی نیز اشاره گردید، به دلیل وجود شرایط اتصال پارکینگ‌های هوشمند به شبکه قدرت در ساختار شبکه هوشمند (در حضور بستر مخابراتی و اطلاعاتی مناسب)، این پارکینگ‌ها می‌توانند سرویس‌های مناسبی را در راستای بهبود انرژی الکتریکی تولید و توزیع شده ارائه نمایند. به منظور تحلیل و بررسی بخشی از این سرویس‌های ارائه شده توسط پارکینگ‌ها بایستی مدل الکتریکی مناسبی برای خودروهای برقی ارائه گردد. سپس براساس این مدل، روابط ریاضی حاکم بر آن‌ها استخراج گردیده و در نتیجه کنترل کننده مورد نظر برای دستیابی به اهداف دیکته شده طراحی گردد.

در [۱۸] مدل نشان داده شده در شکل (۳)، برای بررسی و تحلیل عملکرد خودروهای برقی ارائه شده است.



شکل (۳): مدل الکتریکی خودروهای برقی [۱۸]

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، مدل الکتریکی پیشنهاد شده شامل یک باتری با در نظر گرفتن مقاومت داخلی آن، یک اینورتر با شش سوئیچ الکترونیک قدرت که معمولاً از نوع IGBT هستند و شاخه اتصال خودرو به درگاه انتقال انرژی الکتریکی است. همچنین به دلیل تولید آلودگی هارمونیک در مدارات الکترونیک قدرت، مدل نشان داده شده در شکل (۳) به صورت شکل (۴) توسط یک فیلتر هارمونیک اصلاح شده است. مشخصات باتری استفاده شده در این مدل در [۱۸] ارائه شده است.



شکل (۴): مدل الکتریکی خودروهای برقی با در نظر گرفتن فیلتر هارمونیک

حال به منظور طراحی کنترل کننده مورد نظر برای دستیابی به اهداف مطلوب در عملکرد خودروهای برقی و براساس مدل الکتریکی ارائه شده در شکل‌های (۳) و (۴) بایستی روابط ریاضی حاکم بر این مدل

استخراج شود. روابط ولتاژ- جریان و توان در دستگاه مرجع دوماحوری سنکرون این مدل در ادامه به دست آمده است.

رابطه ولتاژ-جریان دوماحوری در دستگاه مرجع سنکرون بین ترمینال داخلی و باس اتصال به شبکه خودروهای برقی به صورت روابط زیر است

$$V_{cd} = L \frac{dI_{sd}}{dt} + V_{PCCd} \quad (1)$$

$$V_{cq} = L \frac{dI_{sq}}{dt} + V_{PCCq} \quad (2)$$

که در روابط آن‌ها V_{cd} و V_{cq} به ترتیب مولفه حقیقی و موهومی ولتاژ داخلی خودرو، V_{PCCd} و V_{PCCq} به ترتیب مولفه حقیقی و موهومی ولتاژ باس اتصال خودرو به شبکه و I_{sd} و I_{sq} به ترتیب مولفه حقیقی و موهومی جریان تزریقی خودرو به شبکه است و L اندوکتانس معادل است. هم‌چنین روابط توان اکتیو و راکتیو در باس اتصال خودروها به شبکه به صورت زیر است:

$$P_{PCC} = V_{PCCd} I_{sd} + V_{PCCq} I_{sq} \quad (3)$$

$$Q_{PCC} = V_{PCCq} I_{sd} - V_{PCCd} I_{sq} \quad (4)$$

که در روابط آن‌ها P_{PCC} و Q_{PCC} به ترتیب توان اکتیو و راکتیو تزریقی به باس اتصال خودرو به شبکه از طریق خودرو است. حال می‌توان بر اساس روابط (۱) تا (۴) کنترل کننده مورد نظر را طراحی نمود. برخلاف دیگر مقالات که براساس کنترل برداری و با استفاده از کنترل کننده‌های کلاسیک مانند کنترل کننده PI دستیابی به اهداف مطلوب در خودروهای برقی را کنترل نموده‌اند [۱۸]، در این مقاله کنترل به کار گرفته شده برای این خودروها، کنترل کننده غیرخطی مدل‌گزشی است. چراکه با استفاده از کنترل کننده‌های کلاسیک مانند کنترل کننده PI، طراحان با مشکلاتی از قبیل تنظیم ضرایب P و I و نیز مقاوم نبودن این کنترل کننده‌ها در برابر تغییر شرایط شبکه و خودروها، مواجه هستند. به منظور طراحی کنترل کننده مدل‌گزشی در خودروی برقی ابتدا سطوح لغزش را به صورت زیر تعریف می‌نماییم [۱۹]:

$$S_p = e_p + K_p \int e_p dt, \quad e_p = P_{ref} - P \quad (5)$$

$$S_q = e_q + K_q \int e_q dt, \quad e_q = Q_{ref} - Q \quad (6)$$

در روابط فوق، S_p و S_q به ترتیب سطح لغزش بسته شده بر روی توان اکتیو و راکتیو، e_p و e_q به ترتیب خطای توان اکتیو و راکتیو و P_{ref} و Q_{ref} به ترتیب توان اکتیو و راکتیو مرجع است.

با مشتق‌گیری از روابط (۵) و (۶) خواهیم داشت:

$$\dot{S}_p = \dot{e}_p + K_p e_p \quad (7)$$

$$\dot{S}_q = \dot{e}_q + K_q e_q \quad (8)$$

از آنجایی که روابط (۱) تا (۴) در دستگاه ولتاژ شبکه بوده است (یعنی محور حقیقی دستگاه دوماحوری مرجع بر بردار ولتاژ صفر بوده و مولفه افقی به شبکه منطبق است)، لذا مولفه عمودی ولتاژ صفر بوده و مولفه افقی ثابت است. لذا بر این اساس داریم:

$$\dot{P}_{PCC} = V_{PCCd} \dot{I}_{sd} \quad (9)$$

۳- مدل سیستم مورد مطالعه

به منظور بررسی تاثیر روش کنترلی پیشنهادی بر خودروهای برقی در بهره‌وری آن‌ها در حوزه توان راکتیو، در این مقاله، شبکه استاندارد IEEE-9 Bus انتخاب شده است. اطلاعات ژنراتورها، خطوط و بارها در [۲۳] ارائه شده است. هم‌چنین به منظور شبیه‌سازی شبکه در حالت‌های (سناریوهای) مختلف از روش ماتریس کاهش مرتبه داده شده [۲۳] استفاده شده است.

۳-۱- مدل سازی نیروگاه بادی با ژنراتور القایی دوسو تغذیه

در به دست آوردن مدل ریاضی ژنراتور القایی دوسو تغذیه فرضیات زیر به کار رفته است:

- جریان استاتور، روتور، توان‌های اکتیو و راکتیو هنگامی که به سمت ژنراتور است مثبت فرض می‌شود.
- معادلات از دستگاه مرجع سنکرون شبکه برگرفته شده‌اند.
- محور q به اندازه 90° درجه جلوتر از محور d در حال چرخش است.
- محور d محور حقیقی و محور q محور موهومی در نظر گرفته می‌شود.

معادلات ولتاژ ژنراتور القایی در دستگاه دومحوری مرجع سنکرون شبکه در زیر آورده شده است [۲۴]:

$$\vec{V}_{sdq} = R_s \vec{I}_{sdq} + \frac{1}{w_b} \frac{d\vec{\psi}_{sdq}}{dt} + j \frac{w_s}{w_b} \vec{\psi}_{sdq} \quad (16)$$

$$\vec{V}_{rdq} = R_r \vec{I}_{rdq} + \frac{1}{w_b} \frac{d\vec{\psi}_{rdq}}{dt} + j \frac{(w_s - w_r)}{w_b} \vec{\psi}_{rdq} \quad (17)$$

که در روابط (۱۶) و (۱۷)، \vec{V}_{sdq} و \vec{V}_{rdq} به ترتیب بردار ولتاژ استاتور و روتور، $\vec{\psi}_{sdq}$ و $\vec{\psi}_{rdq}$ به ترتیب بردار شار مغناطیسی استاتور و روتور، w_b و w_s به ترتیب سرعت دستگاه مرجع سنکرون و سرعت مرجع و R_r و R_s به ترتیب مقاومت سیم‌پیچ استاتور و روتور می‌باشد.

هم‌چنین معادلات حاکم بر شارهای استاتور و روتور به صورت زیر است:

$$\vec{\psi}_{sdq} = X_s \vec{I}_{sdq} + X_m \vec{I}_{rdq} \quad (18)$$

$$\vec{\psi}_{rdq} = X_r \vec{I}_{rdq} + X_m \vec{I}_{sdq} \quad (19)$$

از رابطه (۱۸) داریم:

$$\vec{I}_{sdq} = \frac{1}{X_s} (\vec{\psi}_{sdq} - X_m \vec{I}_{rdq}) \quad (20)$$

که در روابط بالا، X_s ، X_r و X_m به ترتیب راکتانس استاتور، روتور و مغناطیس شوندگی می‌باشد.

حال با جایگذاری رابطه (۲۰) در رابطه (۱۹) داریم:

$$\vec{\psi}_{rdq} = \frac{X_m}{X_s} \vec{\psi}_{sdq} + \sigma \vec{I}_{rdq} \quad (21)$$

که در رابطه فوق $\sigma = (X_r - \frac{X_m^2}{X_s})$ می‌باشد.

$$\dot{Q}_{PCC} = -V_{PCCd} \dot{I}_{sq} \quad (10)$$

با جایگذاری رابطه (۹) در رابطه (۵) و نیز رابطه (۱۰) در (۶) خواهیم داشت:

$$\begin{bmatrix} \dot{S}_p \\ \dot{S}_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{-V_{PCCd}}{L} & 0 \\ 0 & \frac{V_{PCCd}}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{cd} \\ V_{cq} \end{bmatrix} \quad (11)$$

که در رابطه (۱۱)، F_1 و F_2 به صورت زیر هستند:

$$F_1 = -\frac{V_{PCCd}^2}{L} + \frac{RV_{PCCd}I_{sd}}{L} + K_p e_p \quad (12)$$

$$F_2 = -\frac{RV_{PCCd}I_{sq}}{L} + K_Q e_Q \quad (13)$$

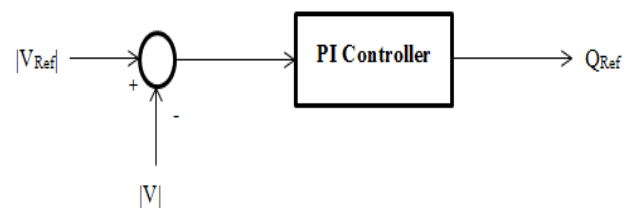
حال بر اساس استراتژی کنترلی مدلزنی که در [۲۲] ارائه شده است، ورودی‌های کنترلی V_{cd} و V_{cq} برای دست‌یابی به اهداف موردنظر در رابطه (۱۴) به دست می‌آید.

$$\begin{bmatrix} V_{cd} \\ V_{cq} \end{bmatrix} = D^{-1} \left(\begin{bmatrix} K_1 \operatorname{sgn}(S_p) \\ K_2 \operatorname{sgn}(S_Q) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} \right) \quad (14)$$

که در رابطه (۱۴) ماتریس D به صورت زیر است:

$$D = \begin{bmatrix} \frac{V_{PCCd}}{L} & 0 \\ 0 & \frac{V_{PCCd}}{L} \end{bmatrix} \quad (15)$$

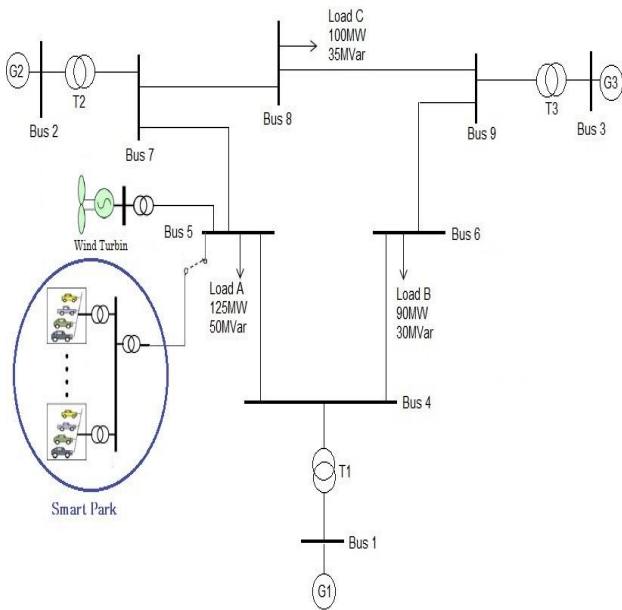
هم‌چنین از آنجایی که در کنترل پارکینگ‌ها هدف تنها تزریق توان راکتیو است، لذا توان اکتیو مرجع در استراتژی کنترل مدلزنی گرفته شده در رابطه (۵) صفر در نظر گرفته می‌شود و نیز توان راکتیو مرجع در این استراتژی بر اساس دیاگرام نشان داده شده در شکل (۵) به این سیستم کنترلی (در رابطه (۶)) تحویل داده می‌شود.



شکل (۵): بلوک دیاگرام تعیین توان راکتیو مرجع با هدف کنترل اندازه ولتاژ باس اتصال خودروها برقی به شبکه (باس (۵))

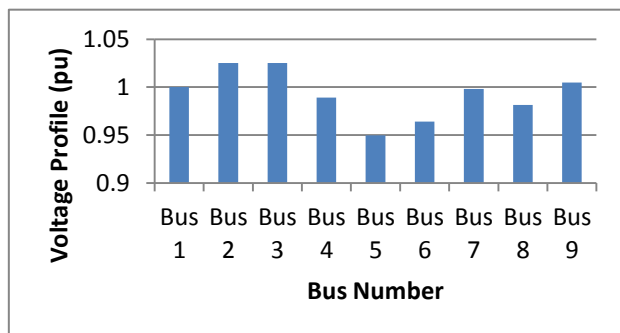
همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، اندازه ولتاژ باس (۵) با مقدار مرجع خود (۱/۰۲) مقایسه شده و سیگنال خطا از یک کنترل‌کننده PI عبور می‌نماید. سیگنال خروجی کنترلی PI مقدار توان راکتیوی است که بایستی پارکینگ هوشمند به شبکه تزریق نماید.

در نتیجه با استفاده از ورودی‌های کنترلی به دست آمده در رابطه (۱۴) می‌توان خودروهای برقی را کنترل نمود به گونه‌ای که توان راکتیو موردنیاز شبکه را بر اساس هدف کنترل ولتاژ تامین نماید.



شکل (۷): دیاگرام تک‌خطی شبکه استاندارد IEEE-9 Bus در سناریوی دوم

لذا با توجه به مطالب ارائه شده در قسمت‌های قبلی، می‌توان شبکه مورد مطالعه و نیز توربین بادی و خودروهای برقی را شبیه‌سازی نمود و نیز در حالت اولیه و در سناریوهای اول و دوم شبکه را تحلیل نموده و نتایج مورد نظر را استخراج نمود. لذا به منظور بررسی و فهم بهتر تاثیر تجهیزاتی مانند خودروهای برقی و نیروگاه بادی بر روی یکدیگر و پارامترهای شبکه که در بخش‌های بعدی مورد بررسی قرار خواهند گرفت، نتایج پروفیل ولتاژ و توان عبوری از خطوط حاصل از شبیه‌سازی شبکه استاندارد IEEE-9 Bus بدون حضور این تجهیزات در شکل‌های (۸) و (۹) نشان داده شده است.



شکل (۸): نمودار میله‌ای پروفیل ولتاژ باس‌ها بر حسب شماره باس

همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، سطح ولتاژ باس (۵) کم‌ترین سطح ولتاژ را در شبکه دارا است. لذا در سناریوی اول پارکینگ هوشمند بر روی این باس قرار می‌گیرد. هم‌چنین در شکل (۹) توان انتقالی خطوط برحسب پریونیت مشاهده می‌شود که میزان توان انتقالی در هر یک از خطوط به سطح ولتاژ باس‌ها نیز بستگی داشته است.

با جایگذاری رابطه (۲۱) در رابطه (۱۷) رابطه ولتاژ روتور در دستگاه دوجرمی برحسب شار استاتور و جریان روتور به دست خواهد آمد که می‌توان رابطه مشتقی جریان روتور را از رابطه حاصل به دست آورد. هم‌چنین با توجه به روابط به دست آمده در این بخش و نیز روش کنترلی مدلزغشی ارائه شده در [۲۵]، می‌توان سیگنال‌های کنترلی ژنراتور القایی دوسو تغذیه را برای دستیابی به اهداف مورد نظر به دست آورد. در ادامه به پیاده‌سازی کنترل کننده پیشنهادی می‌پردازیم.

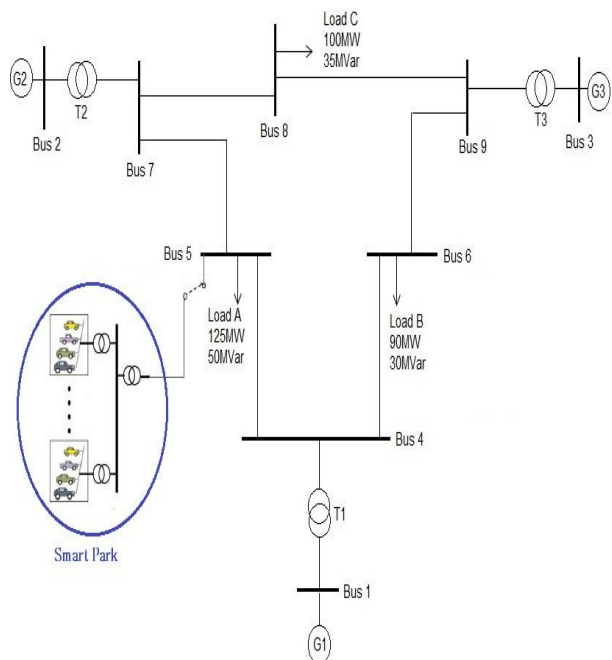
۴- شبیه‌سازی روش کنترلی پیشنهادی

در بررسی تاثیر خودروهای برقی در حوزه توان راکتیو بر روی شبکه مورد مطالعه دو سناریوی زیر در نظر گرفته می‌شود:

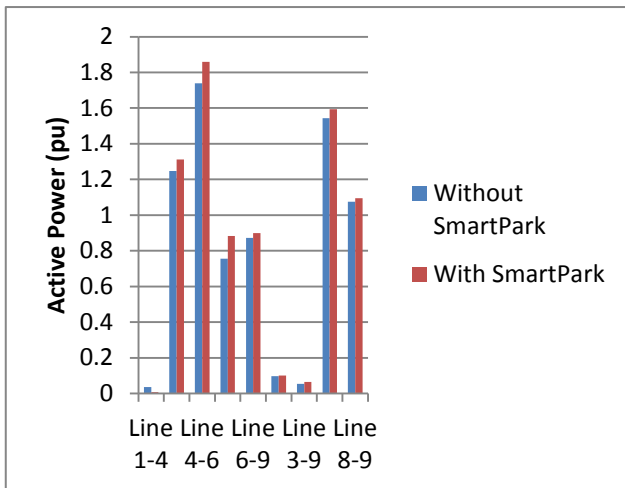
۱- بررسی تاثیر خودروهای برقی بر بهبود پروفیل ولتاژ شبکه استاندارد IEEE-9 Bus

۲- بررسی تاثیر خودروهای برقی بر بهبود عملکرد نیروگاه بادی با ژنراتور القایی دوسو تغذیه به هنگام رخ دادن خطای اتصال کوتاه بر روی خط واصل باس‌های (۵) و (۷) در شبکه استاندارد IEEE-9 Bus

دیاگرام تک‌خطی شبکه مورد مطالعه در بررسی سناریوهای مذکور به صورت نشان داده شده در شکل‌های (۶) و (۷) است.



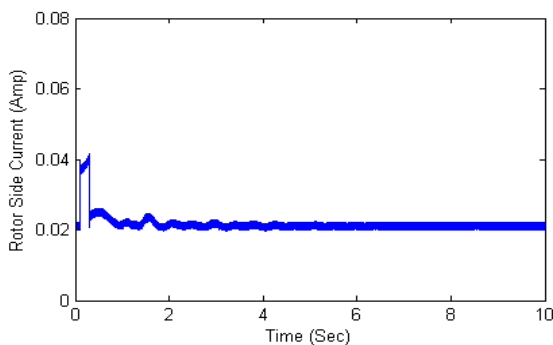
شکل (۶): دیاگرام تک‌خطی شبکه استاندارد IEEE-9 Bus در بررسی سناریوی اول



شکل (۱۱): نمودار میله‌ای توان اکتیو انتقالی در خطوط برحسب شماره خطوط در سناریوی اول

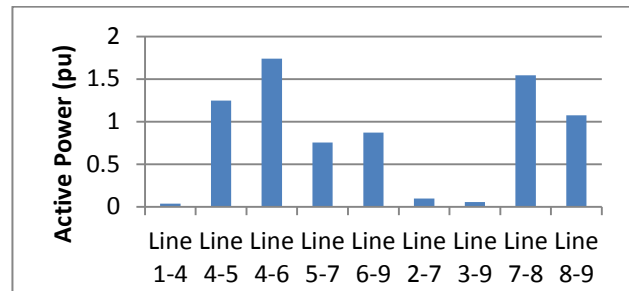
۲-۴- سناریوی دوم

در سناریوی دوم یک نیروگاه بادی ۲ مگاواتی با ژنراتور القایی دوسو تغذیه بر روی باس ۵ قرار می‌گیرد. همچنین به منظور بررسی عملکرد ژنراتور القایی دوسو تغذیه در حالت گذرا، یک خطای اتصال کوتاه ۳ فاز بر روی خط واصل باس‌های (۵) و (۷) در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه استاندارد با حضور نیروگاه بادی و خطای اتصال کوتاه ایجاد شده در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است.



شکل (۱۲): نمودار اندازه جریان سیم‌پیچ‌های روتور ژنراتور القایی برحسب زمان در حالت گذرا (بدون حضور پارکینگ هوشمند)

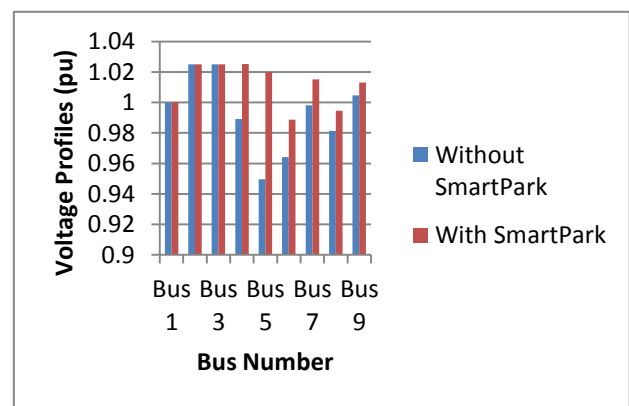
همان‌طور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌گردد در مدت‌زمان وجود خطای اتصال کوتاه (۲۰۰ میلی‌ثانیه) جریان رتور افزایش شدیدی پیدا می‌کند که این اتفاق ارتباط مستقیمی با افت ولتاژ ترمینال ژنراتور القایی دارد که این موضوع در شکل (۱۳) به‌وضوح مشخص است و همچنین این افزایش جریان بسیار خطرناک بوده و می‌تواند به سوئیچ‌های الکترونیک قدرت مبدل سمت روتور آسیب‌های جدی برساند.



شکل (۹): نمودار میله‌ای توان اکتیو انتقالی در خطوط برحسب شماره خطوط

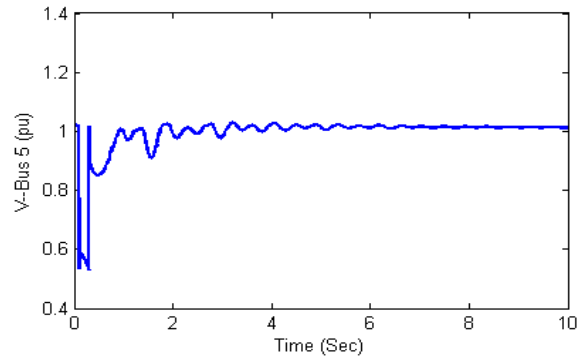
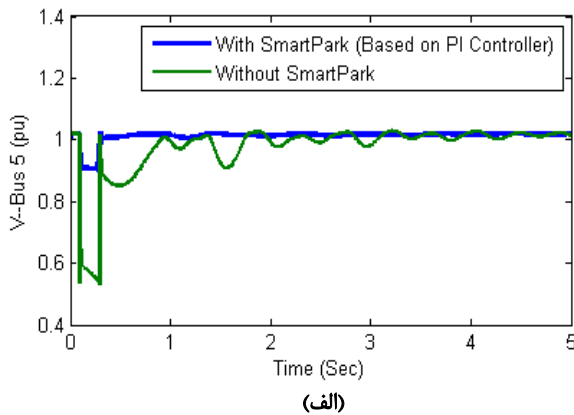
۱-۴- سناریوی اول

همان‌طور که با توجه به شکل (۸) نتیجه‌گیری شد، در سناریوی اول به‌منظور بررسی تاثیر خودروه‌های برقی در بهبود پروفیل ولتاژ شبکه مورد مطالعه، پارکینگ هوشمند بر روی باس (۵) قرار می‌گیرد که دیگرام تک‌خطی شبکه در این حالت نیز در شکل (۶) مشاهده گردید. نتایج حاصل از اتصال پارکینگ هوشمند به شبکه استاندارد IEEE-9 Bus در باس (۵) در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است.



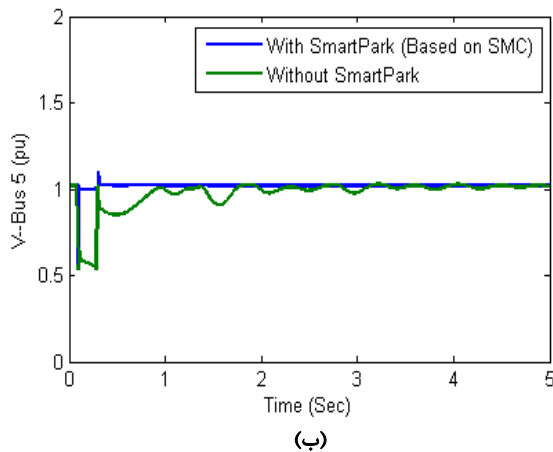
شکل (۱۰): نمودار میله‌ای پروفیل ولتاژ باس‌ها بر حسب شماره باس در سناریوی اول

همان‌طور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، بعد از اتصال پارکینگ هوشمند بر روی باس (۵) ولتاژ این باس به مقدار مطلوب (۱/۰۲) می‌رسد و نیز ولتاژ تمامی باس‌های PQ نیز بهبود پیدا می‌یابند. همچنین با توجه به شکل (۱۱)، توان انتقالی خطوط در این حالت افزایش یافته و به‌عبارت‌دیگر ظرفیت خطوط نسبت به حالت اولیه شبکه آزادتر شده است.



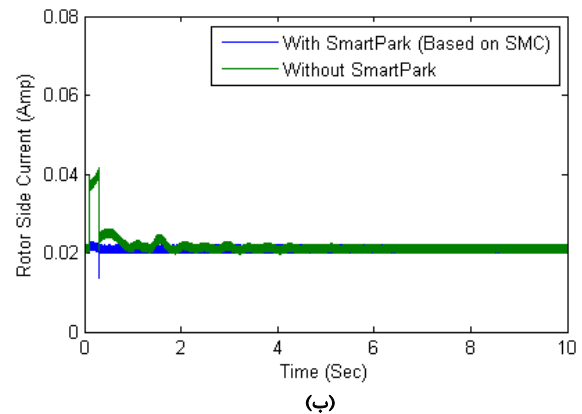
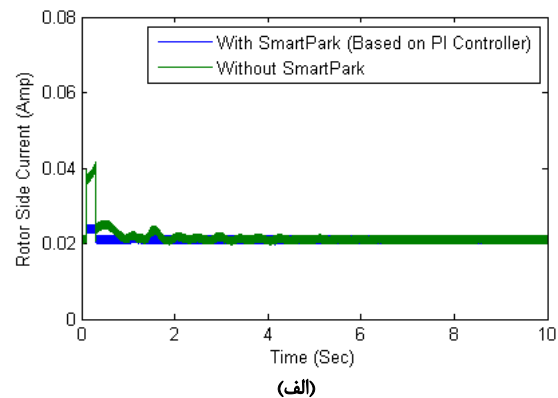
شکل (۱۳): اندازه ولتاژ باس (۵) در حالت گذرا برحسب زمان (بدون حضور پارکینگ هوشمند)

همان‌طور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود، افت ولتاژ شدید در باس (۵) نتیجه حضور خطای اتصال کوتاه در نزدیکی این باس بوده است. همچنین مدت‌زمان ثابت و غیرنوسانی شدن اندازه ولتاژ باس (۵) بعد از رفع خطا نیز نسبتاً زیاد بوده است. همچنین ولتاژ لینک dc نیز بعد از رفع خطا دچار تغییرات شده است. حال در ادامه سناریوی دوم پارکینگ هوشمند شبیه‌سازی شده در سناریوی اول را به شبیه‌سازی سناریوی دوم اضافه می‌نماییم. نتایج حاصل از این تغییر در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) نشان داده شده است.

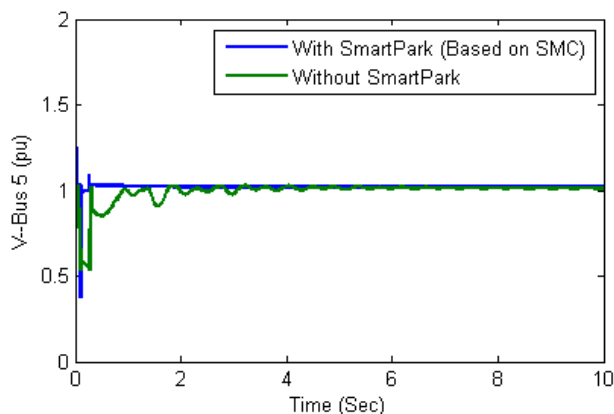


شکل (۱۴): اندازه ولتاژ باس (۵) در حالت گذرا برحسب زمان (با حضور پارکینگ هوشمند): الف) بر اساس کنترل کننده PI. ب) بر اساس کنترل کننده مدل‌غزشی

همان‌طور که در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود، با حضور پارکینگ هوشمند و تزریق توان راکتیو موردنیاز (در هر دو نوع کنترل کننده)، از افزایش جریان در سیم‌پیچ‌های روتور جلوگیری شده است. البته رفتار کنترل کننده مدل‌غزشی نسبت به کنترل کننده PI بهتر بوده است. چراکه بالادگی جریان در حالت گذرا در زمانی که از کنترل کننده مدل‌غزشی استفاده شده است، نسبت به کنترل کننده دیگر، بسیار کم‌تر بوده است. در این حالت نیز این تغییر در جریان روتور ارتباط مستقیمی با افزایش اندازه ولتاژ باس (۵) دارد که این موضوع در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود، زمانی که پارکینگ هوشمند به شبکه اضافه می‌گردد (در هر دو روش کنترلی) وضعیت پروفیل ولتاژ باس (۵) بهتر می‌شود. چرا که توان راکتیو در حال تزریق به شبکه است. اما این در حالی است که کنترل کننده PI با تنظیمات (ضرایب P و I) انتخاب شده در قبل از خطا، در زمان‌های خطا نسبت به استراتژی کنترلی مدل‌غزشی ضعیف‌تر عمل کرده است. به عبارت دیگر کنترل کننده PI در شرایط خطا نیاز به تنظیم مجدد ضرایب دارد و در نتیجه مقاوم نیست. هم‌چنین دقت کنترل کننده مدل‌غزشی نسبت به کنترل کننده PI نیز بهتر بوده است. چراکه تغییرات ولتاژ و نوسانات بعد از رفع خطا در حالتی

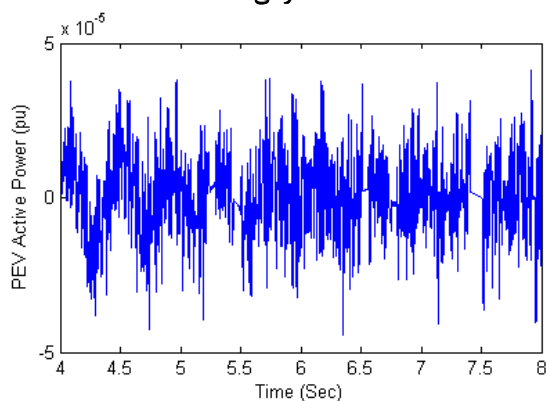


شکل (۱۴): نمودار اندازه جریان سیم‌پیچ‌های روتور ژنراتور القایی برحسب زمان در حالت گذرا (با حضور پارکینگ هوشمند): الف) بر اساس کنترل کننده PI. ب) بر اساس کنترل کننده مدل‌غزشی



(ب)

شکل (۱۷): اندازه ولتاژ باس (۵) در حالت گذرا و در حضور ۲۰٪ نامعینی در ادمیتانس خط واصل باس (۴) و (۵) برحسب زمان (با حضور پارکینگ هوشمند): الف) بر اساس کنترل کننده PI. ب) بر اساس کنترل کننده مدلفزشی



شکل (۱۸): نمودار توان اکتیو تزریقی خودرو برحسب زمان

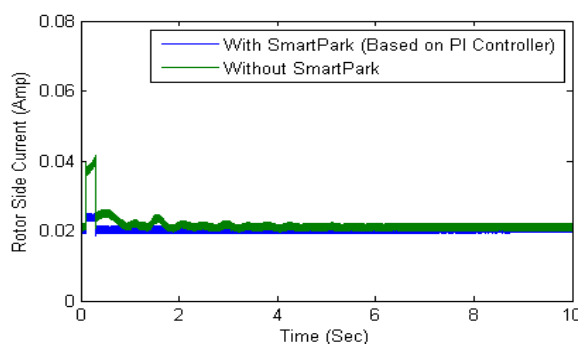
همان‌طور که در شکل (۱۸) مشاهده می‌شود، براساس استراتژی کنترلی پیشنهادی و هدف موردنظر، مقیاس توان اکتیو تزریقی (و یا دریافتی) خودرو برقی در حدود 10^{-5} است که تقریباً می‌توان از آن صرف‌نظر نمود. و در واقع در این شکل نشان داده می‌شود که خودرو برقی اهداف موردنظر در حوزه توان اکتیو (عدم تبادل توان اکتیو با شبکه) را دنبال می‌نماید. همچنین نوسانات موجود در شکل (۱۸) به دلیل پدیده وزوز است که جزء ذات کنترل‌کننده مدلفزشی می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

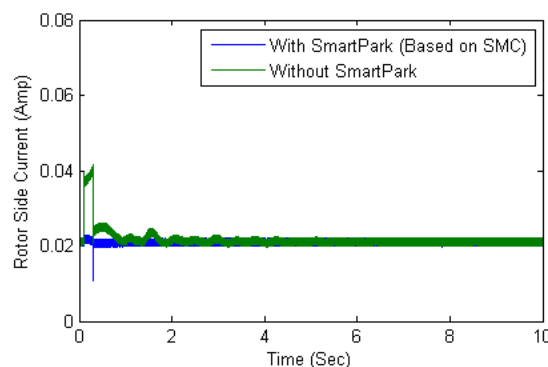
در این مقاله، کنترل‌کننده غیرخطی مدلفزشی به‌عنوان یک کنترل‌کننده مناسب (از لحاظ پیاده‌سازی عملی و ردیابی کامل اهداف موردنظر) و مقاوم، به‌منظور کنترل پارکینگ‌های هوشمند جهت تامین توان راکتیو و ارائه سرویس‌های موردنظر در این حوزه، در راستای بهبود پارامترهای مختلف شبکه نظیر ولتاژ، توان، بهبود قابلیت گذر از خطای نیروگاه بادی با ژنراتور القایی دو سوتغذیه و غیره، پیشنهاد و مورد بررسی واقع گردید که به‌منظور بررسی کیفیت روش پیشنهادی، شبکه استاندارد IEEE-9 Bus به‌عنوان شبکه تست انتخاب شده است.

که کنترل‌کننده مدلفزشی به‌کار گرفته شده است، نسبت به کنترل‌کننده دیگر بسیار ناچیز است.

در حالتی که ۲۰٪ نامعینی در ادمیتانس خط واصل باس‌های (۴) و (۵) فرض شده است، نتایج به‌صورت شکل‌های (۱۶) و (۱۷) به‌دست آمده است. همان‌طور که در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) مشاهده می‌شود، می‌توان دریافت که با ایجاد تغییرات (نامعینی‌های) پارامتریک، کنترل‌کننده PI با همان ضرایب قبلی نمی‌تواند رفتار موردنظر و مطلوب را داشته باشد و رفتار آن تغییر می‌کند. درحالی‌که نامعینی‌های پارامتریک در عملکرد کنترل‌کننده مدلفزشی تاثیری نداشته است.

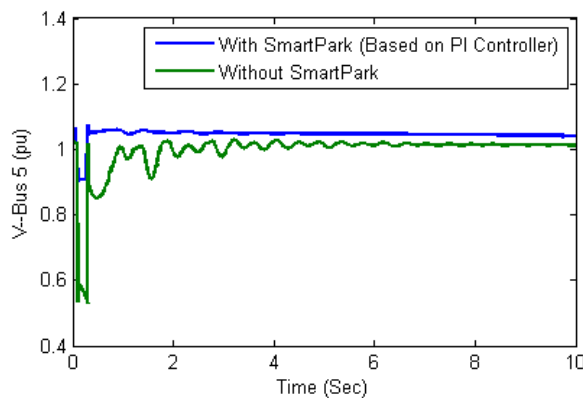


(الف)



(ب)

شکل (۱۶): نمودار اندازه جریان سیم‌پیچ‌های رتور ژنراتور القایی برحسب زمان در حالت گذرا و ۲۰٪ نامعینی در ادمیتانس خط واصل باس (۴) و (۵) (با حضور پارکینگ هوشمند): الف) بر اساس کنترل کننده PI. ب) بر اساس کنترل کننده مدلفزشی



(الف)

- Transactions on Smart Grid, Vol. 4, No. 4, pp. 1772-1779, 2013.
- [12] C. Goebel and D. S. Callaway, "Using ICT-controlled plug-in electric vehicles to supply grid regulation in California at different renewable integration levels," IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 4, No. 2, pp. 729-740, 2013.
- [13] Y. Hongming, C. Y. Chung and Z. Junhua, "Application of plug-in electric vehicles to frequency regulation based on distributed signal acquisition via limited communication," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 28, No. 2, pp. 1017-1026, 2013.
- [14] P. Mitra and G. K. Venayagamoorthy, "Wide area control for improving stability of a power system with plug-in electric vehicles," Generation, Transmission & Distribution, Vol. 4, No. 10, pp. 1151-1163, 2010.
- [15] D. Wu, D. C. Aliprantis and L. Ying, "Load scheduling and dispatch for aggregators of plug-in electric vehicles," IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, No. 1, pp. 368-376, 2012.
- [16] W. Kempton and T. Kubo, "Electric-drive vehicles for peak power in Japan," Energy Policy, Vol. 28, pp. 9-18, 2000.
- [17] C. Guille and G. Gross, "Design of a conceptual framework for the V2G implementation," IEEE Energy 2030 Conference, 2008.
- [18] P. Mitra, G. K. Venayagamoorthy and K. A. Corzine, "Smart park as a virtual STATCOM," IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 2, No. 3, pp. 445-455, 2011.
- [19] W. Qiao, R. G. Harley and G. K. Venayagamoorthy, "Coordinated reactive power control of a large wind farm and a STATCOM using heuristic dynamic programming," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 24, No. 2, pp. 493-503, 2009.
- [20] W. Qiao, G. K. Venayagamoorthy and R. G. Harley, "Real-time implementation of a STATCOM on a wind farm equipped with doubly fed induction generators," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 45, No. 1, pp. 98-107, 2009.
- [21] J. Morren and S. W. H. De Haan, "Ridethrough of wind turbines with doubly-fed induction generator during a voltage dip," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 20, No. 2, pp. 435-441, 2005.
- [22] ژان-ژاک. اسلوتاین، وایپینگ لی، کنترل غیرخطی کاربردی، محمدرضا هاشمی گلپایگانی، منوچهر احمدوند، امیر همایون جعفری، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ دوم، ۱۳۸۹
- [23] P. M. Anderson and A. A. Fouad, *Power System Control and Stability*, Iowa State University press, Ames Iowa, USA, 1997.
- [24] پال. سی. کراوز، تحلیل ماشین‌های الکتریکی، سید مرتضی سقائیان نژاد، حسن نیک خواجویی، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ اول، ۱۳۸۶
- [25] V. Utkin, J. Guldner, and J. Shi, *Sliding Mode Control in Electromechanical Systems*. London, U.K.: Taylor and Francis, 1999.
- نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی روش پیشنهادی حاکی از آن است که استفاده از این نوع کنترل کننده به منظور بهره‌برداری مطلوب از پارکینگ‌های هوشمند در حوزه توان راکتیو موجب بهبود پروفیل ولتاژ شبکه در شرایط کار طبیعی شبکه و در نتیجه موجب کاهش تلفات و آزادسازی ظرفیت خطوط نیز گردیده و نیز باعث حفظ ولتاژ ترمینال ژنراتور القایی دوسو تغذیه در سطح مطلوب، در شرایط گذرا، و در نتیجه عدم قطع نیروگاه بادی تحت این شرایط شده است. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که در اثر به وجود آمدن تغییرات پارامتریک در شبکه تغییری در نحوه عملکرد پارکینگ‌ها حاصل نشده است در صورتی که کنترل کننده‌های مرسوم قبلی که از کنترل سنتی PI بهره می‌گرفتند علاوه بر نیاز به تنظیم پارامترها، با تغییر توپولوژی شبکه نیاز به تنظیم مجدد دارد. در صورتی که نتایج حاصل از کنترل کننده پیشنهادی نیاز به تنظیم پارامترها ندارد و با تغییر توپولوژی شبکه پاسخ مناسب داده که این موضوع نشان از مقاوم بودن روش کنترلی بکار گرفته شده دارد.

۶- مراجع

- [1] R. Haas, C. Panzer, G. Resch, M. Ragwitz, G. Reece and A. Held, "A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries," Renewable and Sustainable Energy Reviews Journal, Vol. 15, pp. 1003-1034, Feb. 2011.
- [2] V. C. Gungor, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergut, C. Buccella and C. Cecati, "Smart grid technologies: Communication technologies and standards," IEEE Transactions on Industrial Information, Vol. 7, pp. 529-539, June 2011.
- [3] G. M. Shafiullah, A. Oo, D. Jarvis, A. Ali and P. Wolfs, "Potential challenges: Integrating renewable energy with the smart grid," Australasian Universities Power Engineering Conference, pp. 1-6, Dec. 2010.
- [4] F. Bouhafs, M. Mackay and M. Merabti, "Links to the future: Communication requirements and challenges in the smart grid," IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 10, No. 1, pp. 24-32, 2012.
- [5] The U.S. Department of Energy's Report, "The smart grid: an introduction," 2008.
- [6] A. Ipakchi and F. Albuyeh, "Grid of the future," IEEE Power Energy, Vol. 7, No. 4, pp. 52-62, Mar/Apr. 2009.
- [7] J. A. Momoh, "Smart grid design for efficient and flexible power networks operation and control," IEEE Power System Conference and Exposition, PSCE, 2009.
- [8] H. A. Khan, Z. Xu, H. Lu and V. Sreeram, "Review of Technologies and Implementation Strategies in the Area of Smart Grid," IEEE Power Engineering Conference, Australasian Universities, 2009.
- [9] Y. M. Atwa and E. F. El-Saadany, "Reliability evaluation for distribution system with renewable distributed generation during islanded mode of operation," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 24, No. 2, pp. 572-581, May 2009.
- [10] M. Yilmaz and P. T. Krein, "Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 28, No. 5, pp. 2151-2169, 2013.
- [11] N. Taheri, R. Enriken and Y. Yinyu, "A dynamic algorithm for facilitated charging of plug-in electric vehicles," IEEE

زیر نویس‌ها

¹ SmartGrid

² Electrical Vehicle (EV)

³ SmartPark

⁴ Flexible AC Transmission System (FACTS)

⁵ Static Synchronous Compensator (STATCOM)