بهسازی مصرف انرژی الکتریکی: چالش‌ها و راهکارها

فرزام نجابت‌خواه[1] - دانشجوی کارشناسی ارشد، سیدحسین حسینی[2] - استاد، سعید دانیالی[3]- دانشجوی دکتری

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تبریز- تبریز- ایران
[1]farzamnejabatkhah@gmail.com, [2]hosseini@tabrizu.ac.ir, [3]danyali.tabrizu@gmail.com

چکیده: این مقاله مروری بر راهکارهای بهسازی مصرف و مدیریت انرژی الکتریکی می باشد که به این منظور، ابتدا مشکلات و مسائل مربوطه را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در حالت کلی، بهسازی مصرف انرژی الکتریکی به چهار دسته مدیریت بار الکتریکی، بهسازی مصرف انرژی الکتریکی در موتورها، کیفیت توان بارهای الکتریکی و بهسازی مصرف در سیستم‌های روشنایی تقسیم می-شود که هر کدام از موارد مطرح شده دارای راهکارهای مربوط به خود می‌باشند که در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرند. علاوه بر موارد مطرح شده، در این مقاله از تولید محلی انرژی الکتریکی به‌عنوان یک فرصت در مسئله بهسازی مصرف انرژی یاد می‌شود. تولید انرژی الکتریکی به‌صورت محلی می‌تواند توسط منابع انرژی تجدیدپذیر، تجدیدناپذیر و یا به‌صورت هیبریدی (ترکیبی از منابع انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) صورت گیرد. در تولید انرژی الکتریکی به‌صورت محلی علاوه بر کاهش توان تلفاتی خطوط انتقال انرژی و افزایش قابلیت اطمینان در تولید، تزریق توان راکتیو (اصلاح ضریب توان) و جبران‌سازی هامونیک‌های سیستم (کارکرد به‌صورت فیلتر اکتیو) هم امکان‌پذیر می‌باشد. به‌منظور بررسی خصوصیات یاد شده، در این مقاله، یک سیستم هیبریدی PV/FC/Battery که یک بار محلی متصل به شبکه قدرت را تغذیه می‌کند، ارائه می‌شود. در این سیستم، علاوه بر تامین توان اکتیو بار، جبران‌سازی هارمونیک‌ها و اصلاح ضریب توان نیز صورت می‌پذیرد. علاوه بر مشخصات فوق، با تحلیل نتایج شبیه‌سازی بدست آمده، کاهش THD ولتاژ و جریان خروجی سیستم هیبریدی و همچنین توانایی بالای بخش مدیریت توان، از مشخصات بارز این مقاله نسبت به کارهای مشابه انجام یافته در این زمینه می‌باشد.

واژه های کلیدی: بهسازی مصرف انرژی الکتریکی، مدیریت مصرف انرژی الکتریکی، کیفیت توان، تولید پراکنده انرژی

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۰/۱۲/۱۰
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۱/۳/۲

نام نویسنده‌ی مسئول : سیدحسین حسینی
نشانی نویسنده‌ی مسئول : دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تبریز- تبریز- ایران

۱- مقدمه

در دنیای امروز، یکی از مولفه‌های نشان‌دهنده پیشرفت در هر کشور، نوع نگاه عمومی به چگونگی مدیریت مصرف کلیه منابع و بخصوص انرژی می‌باشد. در هر کشور، انرژی، سرمایه‌ای گران‌بها برای به حرکت درآوردن چرخه‌های تولید و صنعت است. در میان اشکال مختلف انرژی، انرژی برق از باارزش‌ترین و مهم‌ترین آنها می‌باشد. کاهش منابع انرژی فسیلی، افزایش قیمت حامل‌های انرژی، و پیامدهای زیست محیطی تولید و مصرف انرژی الکتریکی، بهینه‌سازی مصرف در این بخش را ضروری ساخته است. بنابراین، از اوائل دهه ۱۹۷۰ میلادی، حرکت کشورها به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی در دنیا آغاز شد و کشورهای صنعتی به دستاوردهای قابل توجهی در زمینه‌های اقتصادی و زیست محیطی نائل شدند. در واقع امروزه کشورهای صنعتی به مدیریت مصرف انرژی به عنوان یک منبع جدید انرژی می‌نگرند. به طور کلی بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در منازل و ادارات، کارخانجات صنعتی، و اماکن عمومی را می‌توان به چهار گروه عمده زیر تقسیم نمود:

۱- مدیریت بار الکتریکی
۲- بهینه‌سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی
۳- بهبود کیفیت توان بارهای الکتریکی
۴- بهینه‌سازی مصرف در سیستم‌های روشنایی

امروزه علاوه بر بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی، مقوله بهره‌گیری از شکل‌های جدید از انرژی مانند انرژی خورشیدی (PV)، انرژی بادی(WT)، انرژی پیل سوختی(FC)، و ذخیره کننده‌های انرژی الکتریکی همانند باتریها و ابر خازنها به‌عنوان یک فرصت در دنیا مطرح شده است. مزیت اصلی انواع این انرژی‌ها، رایگان بودن و دسترسی همیشگی به آنها می‌باشد. اصلی‌ترین معایب آنها پراکندگی حضور این انرژی‌ها و چگالی انرژی پایین می‌باشد. در ادامه بهره‌گیری از منابع محلی تولید انرژی، امروزه میکروتوربین‌ها (MT) و تولید کننده‌های همزمان برق گرما (CHP)، و ژنراتورها دیزلی یا آبی پراکنده در سیستم قدرت معرفی شده‌اند. ظهور این منابع به همراه انرژیهای تجدیدپذیر در سیستم قدرت موجب پیدایش زمینه تحقیقاتی- عملی بسیار مهمی در سیستم‌های قدرت به عنوان تولید پراکنده (DG) شده است که در مباحث مربوط به تولید و مصرف انرژی الکتریکی جایگاه انکارناپذیری دارد.

در ادامه ابتدا به بررسی و چگونگی چهار راهکار اساسی در صرفه‌جویی مصرف انرژی الکتریکی خواهیم پرداخت و سپس تولید انرژی به‌صورت پراکنده به‌عنوان یک فرصت مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی

۲-۱- مدیریت مصرف بار الکتریکی (DSM)

عمده مخاطب این مقوله شرکت‌های برق منطقه‌ای کشور می‌باشند. در این زمینه تحقیقات و مطالعات فراوان البته ناکافی صورت گرفته است. هدف از ارائه این راهکارها، مدیریت مصرف بارهای الکتریکی در شبکه برق‌رسانی به نحوی است که انرژی الکتریکی با بالاترین کیفیت و کمترین هزینه و تلفات در اختیار مصرف‌کننده قرار گیرد. لذا سیاست-های متولیان تولید برق در کشور، در راستای برنامه‌ریزی تولید برای نیروگاه‌های برق و تشویق و ترغیب مصرف‌کنندگان در جهت کاهش و صرفه‌جویی انرژی می‌باشد. و لذا چون این مورد به عهده صنایع مصرف‌کننده برق نمی‌باشد، در این نوشتار به تفصیل بحث نمی‌گردد.

۲-۲- بهینه‌سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی

موتورهای الکتریکی کاربرد وسیعی در زمینه صنعت، لوازم خانگی برقی، و انواع تجهیزات همچون پمپ‌های آب، ابزارآلات ماشین‌ها و کمپروسورها دارند. آمارها نشان می‌دهد که موتورهای الکتریکی حدود ۶۰٪ از مصرف انرژی در واحدهای صنعتی را به خود اختصاص می‌دهند. امروزه بیش از ۹۰٪ موتورهای استفاده شده در صنعت، القایی هستند که با بهینه‌سازی روش استفاده از آنها، می‌توان ۱۰٪ تا ۱۲٪ در انرژی الکتریکی مصرفی آنها صرفه جویی به عمل آورد. لذا مهمترین راهکارهای کاهش مصرف در این زمینه به صورت خلاصه در زیر تفکیک می‌شود:

۲-۲-۱- نصب درایوهای کنترل سرعت متغیر برای موتورها (VSD)

با این روش، موتورها در سرعت مناسب و مورد نیاز به کارگرفته می‌شوند که این عمل موجب کاهش مصرف انرژی، راه اندازی نرم، افزایش عمر تجهیز و ... می‌گردد.

۲-۲-۲- استفاده از تصحیح کننده‌های ضریب توان

مصرف انرژی الکتریکی موتورها تنها به صورت مفید نبوده و آنها همواره یک مولفه لاینکف توان غیرمفید نیز از شبکه برق دریافت می‌کنند. جذب این مولفه غیرمفید توان، موجب افزایش توان مصرفی و تلفات، و در نتیجه افزایش هزینه برق مصرفی خواهد شد. با سرمایه‌گذاری بسیار کم در نصب تصحیح کننده‌های ضریب توان (معمولاً خازن‌ها)، می‌توان مولفه غیرمفید توان را در محل موتور تولید کرد و مانع از جذب آن از شبکه برق شد.

۲-۲-۳- استفاده از راه اندازهای ستاره-مثلث

سرمایه‌گذاری در این مورد موجب کاهش تلفات، راه‌اندازی اقتصادی و افزایش کیفیت توان در موتورها می‌گردد.

۲-۲-۴- جایگزینی موترهای قدیمی با موتورهای جدید و روغن‌کاری به موقع آنها

این مورد موجب کاهش چشمگیر مولفه‌های تلفات الکتریکی و مکانیکی در موتورها خواهد شد. هرچند این مورد، هزینه‌های بسیار بالایی را به‌همراه دارد، اما حداقل می‌توان در جایگزینی موتورهای معیوب، از موتورهای با کلاس کاری A استفاده کرد.

۲-۳- بهبود کیفیت توان بارهای الکتریکی

کیفیت توان در سیستم‌های الکتریکی، بحثی مهم و تحقیق پذیر می‌باشد. این مقوله دارای استانداردهایی در زمینه تولید و تحویل انرژی الکتریکی برای تولیدکننده‌ها و استانداردهایی در زمینه مصرف انرژی برای مصرف‌کننده‌های الکتریکی می‌باشد. انحراف از این استانداردها موجب بروز مساله کیفیت توان می‌گردد. مسائل کیفیت توان در شبکه‌های الکتریکی موجب تلفات اضافی گرمایی و الکتریکی، اشغال ظرفیت خط، به خطا رفتن کنترل کننده‌ها و سیستم‌های حفاظتی می‌گردد. رفع این نواقص موجب پیدایش راهکارهای بهبود کیفیت توان در شبکه برق شده است. عمده این راهکارها در زیر آورده شده است.

۲-۳-۱- جبران توان راکتیو با بانک‌های خازنی، SVC و STATCOM

مشابه آنچه در بحث اصلاح ضریب توان در موتورهای الکتریکی گفته شد، نه تنها در موتورها بلکه در دیگر تجهیزات الکتریکی، ولتاژ و جریان سینوسی شبکه هم‌فاز نخواهند بود. این امر دلیل اصلی جذب مولفه غیرمفید توان از شبکه می‌باشد. در این راستا، استفاده و نصب تجهیزاتی هم‌چون بانکهای خازنی، جبران‌کننده‌های استاتیکی توان راکتیو SVC و STATCOM در زمره روش‌های اساسی علمی برای جبران توان راکتیو توصیه می‌شود. البته بکارگیری این تجهیزات نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه دارد، ولی می‌توان در کوتاه‌مدت این سرمایه‌گذاری را به استفاده و سود تبدیل نمود. جبران توان راکتیو می‌تواند حداقل ۱۵٪ در مصرف انرژی الکتریکی صرفه‌جویی به عمل آورد.

۲-۳-۲- جبران‌سازی هارمونیک‌های جریان با فیلترهای پسیو، اکتیو و هیبرید

هرگاه در شبکه قدرت به هر دلیلی شکل موج جریان از حالت سینوسی خالص انحرافی پیدا کند، گفته می‌شود جریان دارای هارمونیک می‌باشد. این پدیده در نتیجه استفاده از بارهای غیرخطی، بکارگیری ترانسفورماتورها در ناحیه اشباع و کنترل-کننده‌های سرعت موتورهای الکتریکی ایجاد می‌شود. وجود هارمونیک‌های جریان در شبکه، موجب افزایش تلفات هدایتی خط انتقال و گرمایی ماشین‌های الکتریکی، به خطا رفتن سیستم‌های کنترل و تجهیزات حفاظتی خواهد شد؛ در نتیجه کاهش عمر تجهیزات الکتریکی را به همراه خواهد داشت. جهت جبران این نقیصه در شبکه‌های قدرت، استفاده از فیلترهای پسیو، اکتیو، و هیبرید پیشنهاد شده است. این تجهیزات با جذب مولفه‌های هارمونیکی نامطلوب جریان شبکه، موجب صاف‌شدن جریان به شکل سینوسی مطلوب خواهند شد. البته هزینه استفاده از این تجهیزات بالا بوده، اما بارهای هارمونیکی شدید، ناگزیر باید از این تجهیزات بهره‌مند گردند.

۲-۳-۳- نامتعادلی جریان در شبکه برق

سیستم قدرت در حالت متعادل دارای جریان‌های متعادل سه‌فاز با جریان صفر در سیم نول خواهد بود. اما به علت توزیع نامتعادل بارهای تکفاز بر روی سه فاز شبکه و عملکرد غیر سه‌فاز بارهای سه‌فاز، دامنه یا فاز سه جریان خط متعادل نبوده و برآیند آنها از سیم نول میگذرد. این پدیده در نوع خود موجب ایجاد نامتعادلی در ولتاژ شبکه، تلفات اضافی هدایتی و گرمایی می‌گردد. وجود جریان در سیم نول می‌تواند باعث افزایش تلفات و گاهاً خسارات پیش‌بینی نشده از جمله آتش‌سوزی گردد؛ زیرا طراحی سیم نول برای جریان‌های بسیار کوچک انجام می‌شود. ولتاژ نامتعادل شده به نوبه خود موجب مولفه‌های مقاوم گشتاور در محرکه های الکتریکی و در نتیجه افزایش توان مصرفی این تجهیزات خواهد شد. راه حل این موضوع را نیز می‌توان با متعادل‌سازی توزیع بارهای تکفاز و استفاده از فیلترهای اکتیو پیدا نمود.

۲-۴- بهینه‌سازی مصرف در سیستم‌های روشنایی

روشنایی، بخش عظیمی از مصرف انرژی الکتریکی در مصارف خانگی، تجاری و صنعتی را به عهده دارد. کاهش مصرف انرژی الکتریکی در این زمینه می‌تواند تا حد بسیار زیادی در هزینه برق مصرفی صرفه‌جویی به عمل آورد. مهمترین راهکارهای صرفه‌جویی‌ها در این بخش، در زیر آمده است.

۲-۴-۱- بهینه‌سازی مکانی لامپ‌های روشنایی

هدف از این مقوله این است که مکان لامپ‌ها در ساختمان به نحوی توزیع شود که بتوان روشنایی مورد نیاز در مکان‌های مختلف را به درستی تامین و از روشن‌کردن بی مورد دیگر مکان‌ها اجتناب شود.

۲-۴-۲- بهینه‌سازی زمانی (هوشمندسازی) لامپ‌های روشنایی

هدف از این موضوع، استفاده بهینه زمانی از لامپ‌های روشنایی می‌باشد؛ و این بدان معنی است که لامپ‌ها را زمانی که به نور احتیاج شد، روشن و در سایر مواقع خاموش نگه داریم. این قابلیت در سیستم-

های روشنایی را می‌توان با کمک نصب سنسورهای نوری و سیستم کنترل محلی و یا مرکزی ایجاد نمود.

۲-۴-۳- استفاده از لامپ‌های کم مصرف

جایگزینی لامپ‌های رشته با لامپ‌های فلورسنت، کم مصرف و جدیداً لامپهای LED هزینه مصرفی برق جهت روشنایی را به طور قابل ملاحظه‌ای (بیش از ۵۰٪) کاهش خواهد داد.

۲-۴-۴- تمیز کردن دوره‌ای لامپ‌ها و تعویض لامپ‌های سوخته

نشست گرد و غبار بر لامپ‌ها و عدم تعویض لامپ‌های سوخته، موجب کاهش نور موثر جهت روشنایی می‌شود. نتیجه اینکه جهت جبران نیاز به افزایش لامپ‌های روشن می‌رود که نتیجه آن، روشنایی غیرهدفمند سایر مکان‌ها و به تبع آن افزایش مصرف انرژی الکتریکی خواهد بود. لذا به تمیز کردن دوره‌ای لامپ‌ها و تعویض لامپ‌های سوخته تاکید بسیار می‌شود.

۳- تولید پراکنده انرژی (Distributed Generation) به عنوان یک فرصت

امروزه تامین انرژی الکتریکی برای واحدهای خانگی، تجاری و صنعتی کاملاً به شکل مرسوم گذشته نیست، بلکه موضوع تولید انرژی الکتریکی در محل مصرف‌کننده بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این امر موجب پیدایش سیستم‌های تولید پراکنده (DG) در سیستم قدرت شده است. از مزایای این سیستم‌ها به‌عنوان یک فرصت در بهسازی مصرف انرژی الکتریکی می‌توان به کاهش توان تلفاتی خطوط انتقال انرژی مرسوم، مدیریت تولید و مصرف توسط مصرف‌کننده، افزایش قابلیت اطمینان در تولید برق و کاهش خاموشی‌ها، و شکل‌گیری تجارت انرژی الکتریکی توسط مصرف‌کننده اشاره کرد. همچنین، این سیستم‌ها اکثراً دارای قابلیت تزریق توان راکتیو (اصلاح ضریب توان) و جبران‌سازی هامونیک‌های سیستم (کارکرد به‌صورت فیلتر اکتیو) می‌باشند. البته معایبی حل‌شدنی همچون پیچیده‌شدن حفاظت سیستم‌های الکتریکی، فقدان استانداردهای لازم در این زمینه و سرمایه‌گذاری بالای اولیه در این سیستم‌ها نیز بایستی مد نظر قرار گیرد. این سیستم‌ها با توجه به نیاز اصلیشان به منبع انرژی اولیه، به دو دسته تجدیدپذیر و غیر تجدیدپذیر تقسیم‌بندی می‌شوند.

۳-۱- انرژی‌های تجدیدپذیر

به شکلی از انرژی اطلاق می‌شود که از چرخه طبیعت حاصل گردد و به صورت متناوب (لزوماً نامنظم) بتوان دوباره به آن دست پیدا کرد. این نوع انرژی‌ها با محیط زیست سازگار بوده و اکثراً موجب تولید گازهای گلخانه‌ای نمی‌شوند؛ و امروزه، تقاضای روز افزون برای انرژی الکتریکی، محدودیت انرژی‌های فسیلی و افزایش قیمت آنها علاوه بر نگرانی‌های ناشی از آلودگی محیط زیست، توجه محققان را به بهره‌گیری از سیستم‌های قدرت مبتنی بر این منابع انرژی معطوف کرده است. در مقایسه با نیروگاه‌های قدرت متمرکز، این سیستم‌ها پایدار در تولید، کوچک در اندازه و قابل نصب نزدیک به مراکز بار می‌باشند. بنابراین، سیستم‌های جدید انرژی بایستی متکی بر تغییرات ساختاری و بنیادی باشد که در آن منابع انرژی بدون کربن نظیر انرژی خورشیدی و بادی و زمین گرمایی و کربن خنثی مانند انرژی بیوماس مورد استفاده قرار گیرند. انرژی خورشیدی و انرژی بادی از مهمترین این نوع انرژی‌ها می‌باشند.

۳-۱-۱- انرژی خورشیدی

این انرژی مشتمل بر دو نوع فتوولتاییک خورشیدی و گرمایشی خورشیدی می‌باشد. در نوع اول، انرژی نور خورشید مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود و از آن می‌توان در جهت تامین انرژی الکتریکی بهره جست. عناصر اصلی تولید انرژی الکتریکی در این نوع سیستم‌ها، آرایه‌های فتوولتائیک PV هستند. در نوع دوم، انرژی گرمایی نور خورشید در مصارف مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد [1].

۳-۱-۲- انرژی بادی

انرژی جنبشی باد را می‌توان توسط توربین‌های بادی به انرژی الکتریکی تبدیل نمود. این نوع انرژی، بسته به موقعیت جغرافیای منطقه، در نقاط بادخیز مقرون به‌صرفه‌تر می‌باشد. این نوع انرژی در کشورهای اسکاندیناوی (شمال اروپا) یکی از منابع اصلی تولید انرژی الکتریکی به شمار می‌رود [1].

۳-۲- انرژی‌های غیر تجدیدپذیر

بهره‌گیری از این انرژی‌ها نیاز به منبع اولیه سوخت دارد. قابلیت برنامه‌ریزی، تولید و چگالی بالا انرژی از ویژگی‌های اصلی آنهاست.

۳-۲-۱- پیل‌های سوختی (FC)

این نوع انرژی از یک فرایند الکتروشیمیایی که در آن از ترکیب اکسیژن و هیدروژن انرژی الکتریکی و بخار آب تولید می‌شود، پدید می‌آید. تولید این نوع انرژی از هیچگونه فرایند مکانیکی بهره نمی‌گیرد و با محیط زیست بسیار سازگار می‌باشد [2].

۳-۲-۲- تولید کننده‌های همزمان برق و گرما (CHP)

این سیستم‌ها قابلیت تولید همزمان برق و گرما را دارند. از گرمای تولیدی آن، می‌توان جهت گرمایش آب مصرفی در ساختمان‌ها و مراکز تجاری و صنعتی استفاده نمود. این شکل از انرژی، منبع

عمده‌ای از انرژی مناطق سردسیر اروپا از جمله کشور روسیه را تامین می‌کند [3].

۳-۲-۳- میکروتوربین‌ها (MT)

این شکل از انرژی حدود ۱۰ سال است که در بازار انرژی کشورهای غربی مطرح شده است. حجم کم و چگالی بالای انرژی تولیدی، آن را در زمره یکی از بهترین مولدهای انرژی الکتریکی برای مصارف حد متوسط انرژی معرفی کرده است [4].

۳-۳- استفاده ترکیبی از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر به‌عنوان منبع انرژی تولید پراکنده

تولید اکثر انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر باد و خورشید به شرایط محیطی در شبانه‌روز و فصل سال بستگی دارد. بنابراین در تولیدات پراکنده‌ای که منبع اصلی انرژی، این نوع منابع می‌باشند، نوسان انرژی خروجی آنها با تغییر شرایط آب و هوایی به‌عنوان مهمترین مشکل مطرح می‌باشد. در سال‌های اخیر برای رفع این مشکل، از روش ترکیب این منابع با دیگر منابع انرژی غیر تجدیدپذیر برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم استفاده شده است. در این‌گونه سیستم‌ها، به یک عنصر ذخیره-کننده انرژی به‌منظور جلوگیری از کاهش و یا وقفه‌های کوتاه‌مدت در تولید توان نیز نیاز می‌باشد. به این نوع سیستم‌ها، سیستم‌های تولید پراکنده هیبریدی (ترکیبی) انرژی الکتریکی Hybrid Distributed Generation System (HDGS) گفته می‌شود. بطور کلی، تحقیقات صورت گرفته در این زمینه را می‌توان به دو بخش ۱) ارتقاء ساختاری مبدل‌های الکترونیک قدرت و روش‌های کنترلی آنها [7-5] ۲) مدیریت و برنامه‌ریزی پخش توان بین منابع، بار و شبکه [8,9] تقسیم نمود. در ازاء یک ایده جدید، سیستم معرفی شده بایستی حداقل‌های لازم طراحی این سیستم‌ها در دیگر زمینه تحقیق را نیز برآورده سازد. این نوع نگرش در طراحی این سیستم‌ها می‌تواند به رشد کیفی و همزمان این دو زمینه بیانجامد.

در شهرها (در ساختمان‌های مسکونی، اداری یا کارگاهی) غالباً سیستم‌های هیبرید با منبع اصلی PV بهره‌برداری می‌گیرد. توان الکتریکی این مولدها از یک الگوی متغیر نوسانی و تقریباً غیر قابل پیش‌بینی پیروی می‌کند. لذا برای استمرار در تولید توان و افزایش قابلیت اطمینان این نوع سیستم‌ها، نیاز به منابع دیگر انرژی می‌باشد. این رویکرد توجه را به استفاده ترکیبی از مولدهای PV با دیزل ژنراتورها، پیل‌های سوختی و باتری‌های پشتیبان سوق می‌دهد. استفاده از دیزل ژنراتورها تولید توان به صورت مستمر را تضمین می‌کنند؛ با این وجود دارای چندین عیب مهم از جمله پر سر و صدا بودن، تولید گازهای آلاینده و نیاز به سوخت می‌باشند. همچنین، پشتیبانی دیزل ژنراتور زمانی منطقی به نظر می‌رسد که رنج توان تولیدی زیاد باشد، لذا در رنج توان متوسط و یا پایین استفاده از دیزل ژنراتور بهینه نمی‌باشد. پیل‌های سوختی با داشتن راندمان خوب، پاسخ بار مناسب، امکان تولید انرژی ماژول‌گونه و یکپارچه، و انعطاف‌پذیری سوخت گزینه جالب و کارا برای ترکیب با مولدهای PV می‌باشند. پیل‌های سوختی انرژی را ذخیره نکرده و تا زمانیکه سوخت به آن برسد، انرژی الکتریکی تولید می‌کند. اما از مشکلات FC می‌توان به زمان راه‌اندازی بالا، عدم توانایی در پاسخ به تغییرات سریع بار، نوسان پردامنه نقطه کار به دلیل ریپل موجود در جریان آن اشاره کرد. در این راستا استفاده از بانک باتری پشتیبان در مقالات بسیار پیشنهاد شده است. هدف از بکارگیری باتری در این سیستم‌ها بهبود عملکرد حالت گذرای سیستم هیبرید، جذب نوسانات توان، کاهش ریپل جریان، تزریق موقت انرژی در پیک بار و امکان ذخیره انرژی در هنگام اضافه تولید گزارش شده است. وجود باتری در چنین سیستم‌هایی علاوه بر بهبود مسائل فنی و تکنیکی، موجب پیچیدگی بیشتر سیستم، افزایش قیمت و پیدایش مطالعه مدیریتی توان برای سیستم هیبرید PV/FC/Battery خواهد شد.

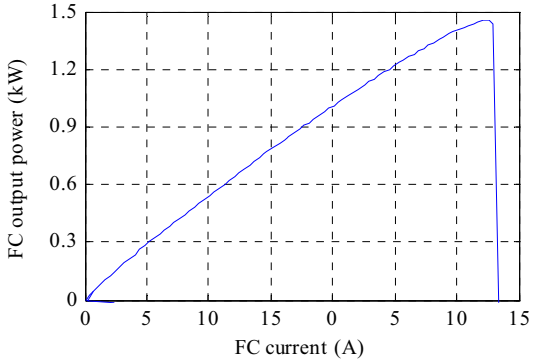
به طور کلی، سیستم‌های هیبرید به دو صورت مستقل و یا متصل به شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سیستم‌های منفصل از شبکه، هدف، تغذیه بارهای حساس دور از شبکه می‌باشد که مسلماً مستلزم بهره‌گیری از عناصر ذخیره‌کننده انرژی برای جبران تغییرات طبیعی توان منابع می‌باشد. در حالت متصل به شبکه، انرژی منابع توان در سیستم هیبرید به مجموعه شبکه و بار تحویل داده می‌شود. در این حالت علاوه بر تزریق توان اکتیو، سیستم هیبرید می‌تواند جهت تزریق توان راکتیو (اصلاح ضریب توان)، جبران‌سازی هامونیک‌های سیستم (کارکرد به‌صورت فیلتر اکتیو) و پشتیبانی ولتاژ شبکه نیز به‌کار گرفته شود [12-10].

به‌منظور بررسی عملکرد این نوع سیستم‌ها، نمونه‌ای از یک سیستم PV/FC/Battery، به منظور تامین یک بار محلی متصل به شبکه قدرت ارائه می‌شود که مشخصات این سیستم در جدول (۱) آمده است.

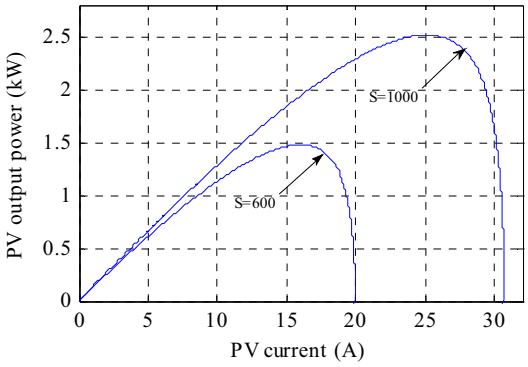
جدول (۱): مشخصات سیستم

مشخصات شبکه	*220Vrms/60Hz*
حداکثر توان خروجی PV	$P_{PVmax}=2.5kW$
حداکثر توان خروجی FC	$P_{FCmax}=1.5kW$
حداکثر توان دشارژ باتری	$P_{Battmax}=0.8kW$
حداکثر توان بار خانگی غیرخطی	*3.5kW (PF=0.85)*

در این سیستم، جریان بار شامل هارمونیک‌های سوم، پنجم، و هفتم می‌باشد که هر کدام بر حسب پریونیت دارای سهم ۶۰٪، ۴۰٪، و ۲۰٪ می‌باشند. در این شبیه‌سازی، منابع PV و FC به‌صورت دینامیکی مدل‌سازی شده‌اند که مشخصه توان- جریان خروجی آنها در شکل‌های (۱) و (۲) آمده است. در این سیستم علاوه بر تامین کامل بار توسط سیستم هیبریدی، کلیه هارمونیک‌های جریان بار توسط سیستم هیبرید به‌عنوان یک فیلتر اکتیو، جبران‌سازی می‌شود. میزان توان بار در بازه‌های زمانی مختلف در جدول (۲) آمده است.



شکل (۱): مشخصه توان- جریان خروجی PV



شکل (۲): مشخصه توان- جریان خروجی FC

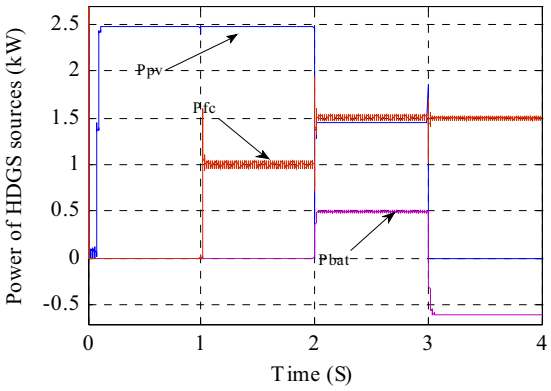
در این سیستم، توسط یک الگوریتم جامع مدیریت توان، توان بار به‌صورت کامل تامین می‌شود؛ در حالت تولید اضافه توان توسط سیستم هیبرید، این توان به شبکه تزریق می‌شود و کمبود توان در این سیستم توسط شبکه پشتیبانی می‌شود. اما در کلیه حالت‌ها، کل هارمونیک‌های بار توسط سیستم هیبریدی جبران‌سازی می‌شود و این سیستم همانند یک فیلتر اکتیو عمل می‌کند. توان منابع در حالت‌های مختلف بار در شکل (۳) نشان داده شده است.

جدول (۲): میزان توان بار

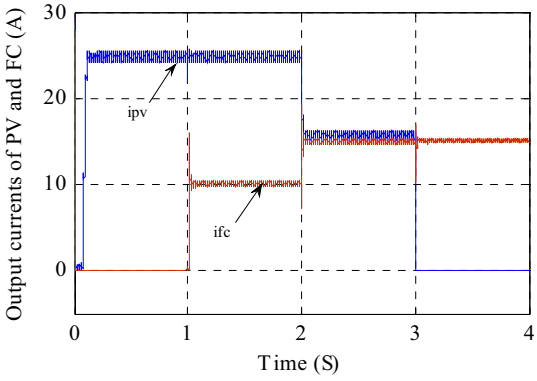
زمان	میزان توان درخواستی بار
0<t<1	P_L=1.5kW
1<t<2	P_L=3.5kW
2<t<3	P_L=3.5kW
3<t<4	P_L=3kW

همانگونه که از شکل (۳) و توان مصرفی بار برمی‌آید، در مرحله اول، توان بار از حداکثر توان قابل انتقال PV کمتر است، بنابراین، توان بار تامین می‌شود و اضافه توان به شبکه تزریق می‌شود. در مرحله دوم، PV و FC توان بار را تامین می‌کنند. در مرحله سوم، PV، FC، و Battery وظیفه تامین توان بار را به عهده دارند. اما در مرحله چهارم، علاوه بر PV و FC، شبکه نیز در تامین بار مشارکت دارد و همچنین در این مرحله، باتری نیز شارژ می‌شود. شکل (۴) جریان منابع PV و FC را در دوره کامل شبیه‌سازی نشان می‌دهد. در اشکال (۵)، (۶)، (۷)، و (۸)، ولتاژ شبکه، جریان تزریقی به شبکه، جریان بار، و جریان تزریقی توسط سیستم هیبریدی نشان داده شده است.

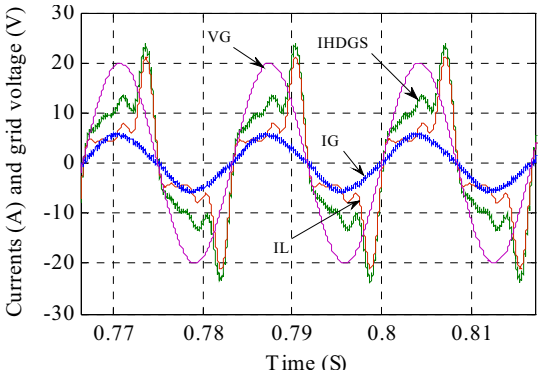
همانگونه که از این اشکال برمی‌آید، در مرحله دوم و سوم، جریان تزریقی به شبکه صفر است و کلیه جریان درخواستی بار به‌همراه هارمونیک‌ها توسط سیستم هیبریدی تامین می‌شود؛ به عبارت دیگر، سیستم هیبریدی کل قسمت خط و غیر خطی بار را تامین می‌کند. در مراحل اول و سوم، علاوه بر منابع سیستم هیبرید، شبکه نیز در بخش مدیریت توان سهیم است. اما بایستی به این نکته توجه داشت که شبکه بار سیستم را به‌صورت کاملاً خطی می‌بیند و قسمت غیر خطی بار کلاً توسط منابع سیستم هیبرید تامین می‌شود. این خصوصیت در شکل‌های (۵) و (۸) که به‌ترتیب تزریق جریان سینوسی و جذب جریان سینوسی از شبکه را داریم، به وضوح دیده می‌شود.



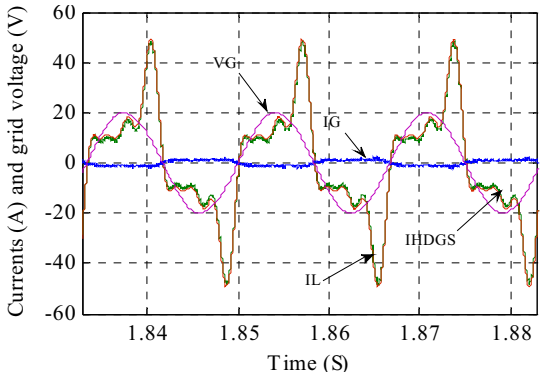
شکل (۳): توان منابع ورودی



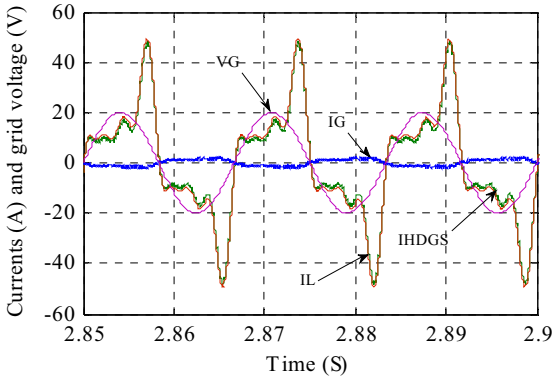
شکل (۴): جریان‌های منابع PV و FC



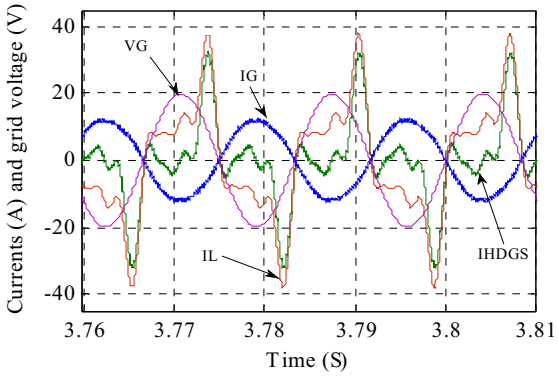
شکل (۵): ولتاژ شبکه، جریان تزریقی به شبکه، جریان بار، و جریان تزریقی توسط سیستم هیبریدی در مرحله اول



شکل (۶): ولتاژ شبکه، جریان تزریقی به شبکه، جریان بار، و جریان تزریقی توسط سیستم هیبریدی در مرحله دوم



شکل (۷): ولتاژ شبکه، جریان تزریقی به شبکه، جریان بار، و جریان تزریقی توسط سیستم هیبریدی در مرحله سوم



شکل (۸): ولتاژ شبکه، جریان تزریقی به شبکه، جریان بار، و جریان تزریقی توسط سیستم هیبریدی در مرحله چهارم

در مقایسه با مقالات ارائه شده در این زمینه مانند [6,13]، در این سیستم به‌دلیل هدف‌گذاری بر جبران‌سازی هارمونیک‌های بار و کنترل ولتاژ شبکه، THD ولتاژ و جریان خروجی سیستم هیبرید بهبود یافته است. در حقیقت، در این سیستم، با طراحی مناسب سیستم کنترلی و بخش مدیریت توان، قابلیت عملکرد به‌صورت فیلتر اکتیو به سیستم اضافه شده است. بنابراین، این سیستم‌ها، علاوه بر تامین توان اکتیو و راکتیو بار، قابلیت جبران‌سازی هارمونیک‌های بار و کنترل ولتاژ شبکه را نیز دارند و می‌توانند به‌صورت یک فرصت برای بهسازی مصرف انرژی الکتریکی به‌کار روند.

۴- نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، کاهش منابع انرژی فسیلی، افزایش قیمت حامل‌های انرژی، و پیامدهای زیست محیطی تولید و مصرف انرژی الکتریکی، بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی را بیش از پیش حائز اهمیت ساخته است. در این مقاله مروری بر راهکارهای بهسازی مصرف و مدیریت انرژی الکتریکی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. با توجه به مباحث مطرح شده در این مقاله، مدیریت مصرف و تبعیت از توصیه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی، بکارگیری روش‌های کاهش مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی، بهینه‌سازی مکانی و زمانی لامپ‌های روشنایی، و بهبود کیفیت توان در بارها و سیستم‌های تغذیه الکتریکی از جمله راهکارهایی هستند که در مدت‌کوتاه و با سرمایه-گذاری کم، موجب کاهش و بهسازی مصرف انرژی الکتریکی می‌گردند. از طرفی، محلی‌سازی تولید و مصرف انرژی (گرایش به تولید انرژی به-صورت پراکنده)، رویکرد به سمت بهره‌گیری از منابع رایگان انرژی؛ انرژی‌های تجدیدپذیر (PV,WT)، بکارگیری مولدهای پر بازده و کم حجم انرژی الکتریکی (MT,CHP)، به‌کارگیری منابع تولید پراکنده هیبریدی (ترکیبی) انرژی الکتریکی از جمله راهکارهایی می‌باشند که به سرمایه‌گذاری بیشتر و کسب نتیجه در یک دوره زمانی بیشتری نیاز دارند. در این مقاله، به‌منظور بررسی کارایی سیستم‌های هیبریدی، سیستم هیبریدی PV/FC/Battery متصل به شبکه قدرت که یک بار محلی را نیز تغذیه می‌کند، مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. این سیستم علاوه بر تولید توان اکتیو مورد نیاز بار، توانایی تزریق توان راکتیو (اصلاح ضریب توان بار) و همچنین جبران‌سازی هارمونیک‌های بار (عملکرد به‌صورت اکتیو فیلتر) را نیز دارند که این خصوصیات سیستم باعث شده است تا علاوه بر طراحی یک کنترل‌کننده جامعتر نسبت به کارهای پیشین، THD ولتاژ و جریان خروجی سیستم هیبریدی نیز در مقایسه با آن‌ها کاهش یابد. نتایج شبیه‌سازی تصدیق-کننده این خصوصیات می‌باشند.

مراجع

[1] G. Boyle, *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*, Oxford, 2004.

[2] EG & G Technical Services, Inc "*Fuel Cell Handbook, (Seventh Edition)*", Nov., 2004.

[3] M. Houwing, R. R. Negenborn, and B. De Schutter, "*Demand response with Micro-CHP systems*," Proceeding of IEEE., vol. 99, no. 1, pp. 200-213, Jan. 2011.

[4] H. Nikkhajoei, and M. R. Iravani, "*A matrix converter based micro-turbine distributed generation system*," IEEE Trans. Power Deli., vol. 20, no. 3, pp. 2182–2192, Jul. 2005.

[9] L. N. Khanh, J. J. Seo, Y. S. Kim, and D. J. Won, "*Power-management strategies for a grid-connected PV-FC hybrid system*," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 25, no. 3, pp. 1874-1882, Jul. 2010.

[10] P. Samuel, R. Gupta, and D. Chandra, "*Grid Interface of Wind Power With Large Split-Winding Alternator Using Cascaded Multilevel Inverter*," IEEE Trans. Energy Conv., vol. 26, no. 1, pp. 299–309, Mar. 2011.

[11] R. I. Bojoi, L. R. Limongi, D. Roiu, and A. Tenconi, "*Enhanced Power Quality Control Strategy for Single-Phase Inverters in Distributed Generation Systems*," IEEE Trans. Power Elec., vol. 26, no. 3, pp. 798–806, Mar. 2011.

[12] M. N. Marwali, D. Min, and A. Keyhani, "*Robust stability analysis of voltage and current control for distributed generation systems*," IEEE Trans. Energy Conv., vol. 21, no. 2, pp. 516–526, Jun. 2006.

[13] S. H. Hosseini, S. Danyali, F. Nejabatkhah, and S. A. KH. Mozafari Niapour, "*Multi-input DC boost converter for grid connected hybrid PV/FC/Battery power system,*" in Proc. IEEE Electric Power Conf., 2010, pp. 1-6.

[5] F. Nejabatkhah, S. Danyali, S. H. Hosseini, M. Sabahi, and S. A. KH. Mozaffari Niapour, "*Modeling and Control of a New Three-Input DC-DC Boost Converter for Hybrid PV/FC/Battery Power System*", IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 27, no. 5, pp. 2309–2324, May. 2012.

[6] S. H. Hosseini, Farzam Nejabatkhah, and S. Danyali, "*Grid connected Hybrid PV/FC/Battery power system based on cascade H-Bridge multilevel inverter*," in Proc. IEEE EPEC, Canada, 2011, pp. 1036–1041.

[7] Zh. Qian, O. A. Rahman, and I. Batarseh, "*An integrated four-port DC/DC converter for renewable energy applications*," IEEE Trans. Power Electron., vol. 25, no. 7, pp. 1877–1887, Jul. 2010.

[8] C. Wang and M. H. Nehrir, "*Power management of a stand-alone Wind/Photovoltaic/Fuel cell energy system*," IEEE Trans. Energy Conv., vol. 23, no. 3, pp. 957-967, Sept. 2008.