

به کار گیری استراتژی کنترل فازی تطبیقی در ریز شبکه قدرت با حضور تولیدات پراکنده

حسن بهرامی^۱، سید ایمان سیدی^۲

^۱ دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرین دشت، زرین دشت، ایران. h.bahrami1690@gmail.com

^۲ دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرین دشت، زرین دشت، ایران. SI.Sayedi@iau.ac.ir

چکیده

در این مقاله به مطالعه و بررسی شبکه میکروگرید شامل انرژی خورشیدی، باتری و ابر خازن با استفاده از کنترل کننده فازی می پردازیم. به دلیل تغییرات ولتاژ در باس DC نیاز است تا سلول خورشیدی و باتری را با استفاده از روش کنترلی و مبدل تنظیم کرد. همچنین به کمک باتری و ابرخازن در زمان هایی که نیاز به توان بیشتری در بار است از این تجهیزات کمک گرفته می شود. ابر خازن برای زمان های لحظه ای و باتری برای مدت زمان های طولانی تر برای تامین توان بارهای خروجی به کار می روند. سیستم کنترل فازی یک سیستم کنترلی است که بر اساس منطق فازی-ریاضی سیستم که مقادیر ورودی آنالوگ را تحلیل می کند از لحاظ متغیرهای منطقی که در آن قرار دارند و در چندین بخش سیستم برای بهبود عملکرد به کار می رود. شبیه سازی در نرم افزار متلب / سیمولینک انجام میگردد و نتایج خروجی صحت و اعتبار سیستم به کار گرفته شده را مورد تایید قرار می دهد.

واژه های کلیدی: میکروگرید، تثبیت ولتاژ، کنترل فازی، سلول خورشیدی، ابرخازن، مدیریت انرژی

۱. مقدمه

با افزایش مصرف انرژی، افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی، کاهش منابع فسیلی و مسائل زیست محیطی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر گسترش یافته‌اند. افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر منجر به گسترش سیستم قدرت تولید پراکنده شده است.^۱ در مقایسه با منابع تولید توان متمرکز، این سیستم‌ها تجدیدپذیر بوده، سائز کوچک‌تری داشته و نزدیک‌تر به بار قرار دارند. به دلیل گسترش مقررات زدایی در شبکه برق، تجدید ساختار سیستم‌های قدرت و قیود سخت اعمالی بر روی خطوط انتقال فواصل طولانی، پیش بینی می‌شود که کاربرد تولید پراکنده در آینده بیشتر شود [۶-۱].

تولید انرژی با باد و انرژی خورشیدی، دو مورد از گسترش یافته‌ترین روش‌های تولید انرژی در سیستم‌های تولید پراکنده می‌باشند. همچنین پیل‌های سوختی به علت مزایای مختلفی از قبیل بازده بالا، عدم ایجاد آلودگی و ساختارهای مدولار انعطاف پذیر، یک منبع بالقوه برای استفاده در سیستم‌های تولید پراکنده می‌باشد. البته هیچ کدام از این منابع به تنهایی برای استفاده مناسب نیستند. تولید انرژی از طریق خورشید و باد کاملاً به شرایط محیطی وابسته است و هزینه تولید پیل‌های سوختی نیز بسیار بالا می‌باشد. با این وجود، به دلیل توانایی منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر در جبران کردن اثر یکدیگر، سیستم‌های هیبرید تولید انرژی با منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر پتانسیل بالایی برای تولید انرژی با کیفیت و قابلیت اطمینان بالاتر برای مشتری را دارند. به همین دلیل، استفاده از سیستم‌های هیبرید تولید توان توجه دنیا را به سمت خود جلب کرده است [۷-۱۰].

سیستم هیبرید انرژی می‌تواند به دو صورت متصل به شبکه یا مجزا از شبکه مورد استفاده قرار گیرد. در حالت مجزا از شبکه، سیستم برای مدیریت تغییرات توان نیاز به ظرفیت ذخیره سازی کافی در شبکه دارد. این سیستم می‌تواند به عنوان یک ریزشبهه تعریف شود که منابع تولید توان و بارها درون این سیستم تعریف شده‌اند [۱۱]. در کاربردهای متصل به شبکه، منابع تولید انرژی ریزشبهه می‌توانند هم بارهای محلی و هم بارهای شبکه را تامین کنند. علاوه بر تامین توان اکتیو، این سیستم‌های تولید پراکنده می‌توانند توان راکتیو شبکه را تامین کنند که این امر می‌تواند منجر به کنترل و پشتیبانی ولتاژ شبکه گردد. از آنجایی که شبکه قدرت می‌تواند به عنوان سیستم پشتیبان در نظر گرفته شود، در صورتی که از حالت متصل به شبکه استفاده شود، ظرفیت سیستم ذخیره ساز انرژی می‌تواند کوچکتر در نظر گرفته شود. با این حال، در صورت استفاده در حالت متصل به شبکه، موارد مختلفی از قبیل تنظیم ولتاژ، فرکانس و هارمونیک‌ها بر روی شبکه و سیستم هیبرید تاثیر می‌گذارند [۱۲].

ریزشبهه های الکتریکی، به عنوان یکی از المان های اصلی شبکه های هوشمند، یک راه حل ایده آل برای اتصال منابع تجدیدپذیر و انرژی های نو به شبکه قدرت و افزایش مشارکت آن ها می باشد. این شبکه های کوچک الکتریکی با بخدمت گرفتن منابع مختلف تولید و ذخیره انرژی، ضمن افزایش قابلیت اطمینان سیستم، موجب کاهش هزینه ها و گازهای گلخانه ای میگردند [۱۶-۱۳]. در این تحقیق به دنبال دریافت بیشترین توان خروجی از سلول خورشیدی متصل به شبکه هستیم تا در شرایط مختلف کاری در بیشترین بازده کار کنیم. با توجه به تغییرات دما و تغییرات تابش خورشید مقدار توان دریافتی از سلول خورشیدی متغیر می باشد با به کاربردی کنترل فازی به دنبال راه حلی برای دریافت بیشترین توان خروجی برای تامین توان مورد نیاز بارهای غیرخطی که دارای ولتاژ و جریان ناهمفاز نسبت به یکدیگر می باشند. نوسانات ولتاژ خروجی سیستم خورشیدی به دلیل تغییرات شرایط جوی بر روی دیگر قطعات همانند باتری و مبدل منبع ولتاژی تاثیر می گذارد، در نتیجه تاثیر بهتری دارد که از سیستم خورشیدی منبع جریانی در امتداد باتری به کار گرفته شود تا نوسانات کاهش یابد. میکروگرید معمولاً شامل یک مجموعه محلی از منابع تولید پراکنده، سیستم ذخیره انرژی و بارها می‌باشد که می‌تواند به صورت اتصال به شبکه و یا عملکرد جزیره‌ای مورد بهره‌برداری قرار گیرد. ریزشبهه دارای منافع زیادی هم برای مصرف کننده و هم برای شرکت‌های تولید برق خواهد داشت، از دید مصرف کننده ریزشبهه قابلیت فراهم ساختن همزمان برق و حرارت، افزایش قابلیت

¹ Distributed generation power systems

اطمینان، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهبود کیفیت را دارد و از دید شرکت‌های برق بکارگیری ریزشبکه‌ها پتانسیل کاهش دیماند مصرفی و بنابراین کاهش تسهیلات توسعه خطوط انتقال و علاوه بر آن عامل حذف نقاط اوج مصرف خواهد بود که در نتیجه از تلفات شبکه نیز کاسته می‌شود. در این تحقیق یکی از اهداف مهم رسیدن به بیشترین توان دریافتی از منابع انرژی نو است در شرایط های مختلف کاری و مدیریت کنترل انرژی ارسالی در شرایط مختلفی کاری اعم از خطا و وقوع رویدادهای نامتعارف در شبکه می باشد.

۲. اصول اجرایی ساختار پیشنهادی

ریزشبکه قدرت دارای مدهای کاری متفاوتی می باشد. مهم ترین مد کاری شامل مد جزیره‌ای می باشد شدن به شرایطی گفته می‌شود که یک قسمت از شبکه‌ی الکتریکی توسط یک یا چند منبع برقرار شود در حالیکه این قسمت از بقیه‌ی سیستم الکتریکی جدا شده باشد. جزیره ای شدن شبکه برق را می‌توان به دو گروه تقسیم بندی کرد: جزیره‌ای شدن ناخواسته و جزیره‌ای شدن عمدی.

جزیره‌ای شدن ناخواسته مطلوب نیست چرا که ممکن است باعث تغییرات بزرگی در ولتاژ و فرکانس روی بخش جزیره‌ای شده‌ی شبکه گردد و تأمین برق مشتریان تحت شرایط غیر معمول انجام گیرد تا اینکه یا سیستم مختل شود یا تعادل بین تولید و مصرف ایجاد گردد. همچنین جزیره‌ای شدن ناخواسته می‌تواند خطراتی را متوجه پرسنل بهره بردار شبکه کند. از سوی دیگر عملکرد جزیره‌ای ممکن است مفید و حتی مطلوب باشد. برای مثال در حالت خاموشی‌های سراسری و یا قطعی‌های طولانی تغذیه فیدرهای توزیع (در اثر مشکلات مهم روی شبکه انتقال)، عملکرد جزیره‌ای فیدرهای توزیع امکان تأمین برق مشتریان تا زمان بازسازی مجدد سیستم را فراهم می‌سازد [۱۷].

به صورت سنتی تأمین برق مصرف کنندگان با اتصال به شبکه های بزرگ صورت می گیرد. اما اپراتورهای شبکه می توانند جهت تأمین برق مصرف کنندگان محلی خود تحت شرایط خطا از روش های دیگری استفاده کنند. استفاده از واحدهای تولید محلی مانند منابع تولید پراکنده که تحت شرایط جزیره ای عمل می کنند، یکی از این روش هاست. با توجه به نوع و اندازه ی ژنراتورهایی که برق جزیره را تأمین می کنند، جزیره ها را می توان به انواع زیر تقسیم بندی کرد. شامل دیزل ژنراتورها، ژنراتورهای بادی، فتوولتائیک، میکروتوربین هاو دیگر واحدهای تولیدی کوچک که به شبکه ی توزیع (0.4 – 20 kV) متصل می شوند.

مدل بار:

دسته بندی بارها:

بار یک پارامتر نامعین است که مدام تغییر می کند. بنابراین مطلع بودن از رفتار بار هنگام راه اندازی مجدد قسمت جزیره ای و همچنین اتصال مجدد این قسمت به شبکه، بسیار مهم است. داشتن اطلاعات دقیق از بارها، به خصوص تا زمانی که هنگام بهره برداری جزیره ای امکان تنظیم فرکانس توسط واحد تولید پراکنده دارای محدودیت باشد، اهمیت به سزایی دارد. به طور کلی بارها را می توان به سه گروه صنعتی، تجاری و خانگی تقسیم بندی کرد. جهت در اختیار داشتن اطلاعات مناسب از بارها، باید رفتار هر گروه از بارها در بازه های زمانی مشخص، تعیین گردد. راه اندازی با بار سرد:

اتصال مجدد بارها پس از یک خاموشی نسبت به ورود بارها به شبکه در حالت عادی بسیار متفاوت است. (به خصوص در صورتیکه خاموشی طولانی باشد). به این پدیده راه اندازی با بار سرد گفته می شود.

میزان مصرف بیشتر صنایع (اگر نگوئیم تمام بارهای صنعتی) هنگام وصل مجدد بعد از یک خاموشی طولانی، بسیار کمتر از میزان مصرف آن قبل از خاموشی است. به عنوان مثال در صنایع کاغذ سازی، شیمیایی و پالایشگاهها، راه اندازی کامل ممکن است چندین ساعت یا حتی چندین روز طول بکشد. صنایع کوچکتر مانند صنایع مهندسی و چوب بری بسیار سریعتر راه اندازی می شوند.

بارهای مسکونی در مقایسه با بارهای صنعتی رفتار متفاوتی را به نمایش می گذارند. در بارهای خانگی میزان مصرف بعد از یک خاموشی از میزان مصرف بعد از آن بیشتر خواهد بود. دلیل اصلی این افزایش اینست که وسائل خانگی مانند یخچال ها، فریزرها، سیستم های تهویه، بویلرهای الکتریکی، رادیاتورهای الکتریکی و ... تنظیماتشان پس از قطع برق از بین رفته و هنگام وصل مجدد برق، در حالت روشن قرار می گیرند.

تجهیزات مدرن طوری طراحی شده اند که این افزایش میزان مصرف بعد از خاموشی را کاهش می دهند که این کار باعث کاهش تأثیر پدیده ی راه اندازی با بار سرد می شود [۱۸].

بارهای وابسته به ولتاژ و فرکانس:

هنگام بازیابی سیستم، ولتاژ و فرکانس ممکن است به طرز قابل توجهی نوسان کنند و این امر ممکن است روی میزان بارهای وابسته فرکانس تأثیر بگذارد. برای بارهای وابسته به ولتاژ کنترل کننده ی حرارت، هنگام کاهش ولتاژ ابتدا توان مصرفی کاهش می یابد (با مربع ولتاژ) اما با کاهش بیشتر ولتاژ توان مصرفی افزایش می یابد به صورتی که کاهش ۱۰ درصدی ولتاژ طی مدت ۱۰-۱۵ دقیقه منجر به افزایش ۴۰-۳۰ درصدی توان مصرفی می گردد و پس از گذشت ۴۰-۳۰ دقیقه این افزایش توان به ۵-۱۰ درصد خواهد رسید. اما با توجه به ترکیب بارها در یک منطقه، می توان گفت با کاهش ولتاژ میزان توان مصرفی کاهش می یابد.

پاسخ فرکانسی بارهای مختلط تقریباً خطی بوده و طی شرایط بارگذاری معمولی، تغییرات آن بسیار کم است (حدود 0.01 pu/Hz) به هر حال اکثر بارها وابسته به ولتاژند و در صورت افت ولتاژ کاهش می یابند. بنابراین وابستگی بارها به ولتاژ و فرکانس یک ویژگی مطلوب است که می تواند به کنترل فرکانس طی دوره ی بازیابی سیستم کمک کند [۱۹].

مبدل بوست نوعی مبدل DC-DC افزایشده است. از این مبدل برای رگولاته کردن منابع تغذیه DC و ایجاد ترمز موتورهای DC استفاده می شود. در این مبدل، ولتاژ خروجی همواره بزرگتر از ولتاژ ورودی خواهد بود. از آنجا که اساس کار این مبدلها سوئیچینگ کلیدزنی است، برای از بین بردن ریپل موجود در ولتاژ خروجی از یک خازن استفاده می گردد و همچنین با استفاده از یک دیود، جریان خروجی رو یکسو می کنیم تا بارهای راکتیو بتوانند بدون مشکل تغذیه شوند. سلف موجود در قسمت ورودی مدار، انرژی مورد نیاز خود را در هنگام بسته بودن کلید از ولتاژ ورودی دریافت و در هنگام باز شدن کلید، این انرژی را آزاد می سازد. در نتیجه در حالت پایدار، ولتاژ خروجی مقداری ثابت و بزرگتر از ورودی خواهد بود. کاربرد آن در افزایش ولتاژ DC از سطح پایین به بالا-اصلاح ضریب قدرت می باشد. در این تحقیق از مبدل بوست برای افزایش ولتاژ ورودی به سلول خورشیدی به کار می رود [۲۴-۲۰].

از کنترل فازی در قسمت سلول خورشیدی برای داشتن جوابهای بهینه به کار گرفته می شود. منطق فازی^۲ اولین بار در پی تنظیم نظریه مجموعه های فازی به وسیله پروفیسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ میلادی در صحنه محاسبات نو ظاهر شد. واژه fuzzy به معنای غیردقیق، ناواضح و مبهم (شناور) است.

² Fuzzy logic

کاربرد این بخش در علوم نرم‌افزاری را می‌توان به‌طور ساده این‌گونه تعریف کرد: منطق فازی از منطق ارزش‌های «صفر و یک» نرم‌افزارهای کلاسیک فراتر رفته و درگاهی جدید برای دنیای علوم نرم‌افزاری و رایانه‌ها می‌گشاید، زیرا فضای شناور و نامحدود بین اعداد صفر و یک را نیز در منطق و استدلال‌های خود به‌کاربرده و به چالش می‌کشد. منطق فازی از فضای بین دو ارزش «برویم» یا «نرویم»، ارزش‌های جدید «شاید برویم» یا «می‌رویم اگر» یا حتی «احتمال دارد برویم» را استخراج کرده و به کار می‌گیرد. بدین ترتیب به‌عنوان مثال مدیر بانک پس از بررسی اطلاعات اقتصادی یک بازرگان می‌تواند فراتر از منطق «وام می‌دهیم» یا «وام نمی‌دهیم» رفته و بگوید: «وام می‌دهیم اگر...» یا «وام نمی‌دهیم ولی...».

منطق فازی بیش از بیست سال پس از سال ۱۹۶۵ از درگاه دانشگاه‌ها به بیرون راه نیافت؛ زیرا کمتر کسی معنای آن را درک کرده بود. در اواسط دهه ۸۰ میلادی قرن گذشته صنعتگران ژاپنی معنا و ارزش صنعتی این علم را دریافته و منطق فازی را به کار گرفتند. اولین پروژه آنها طرح هدایت و کنترل تمام خودکار قطار زیرزمینی شهر سندای بود که توسط شرکت هیتاچی برنامه‌ریزی و ساخته شد. نتیجه این طرح موفق و چشم‌گیر ژاپنی‌ها به‌طور ساده این‌گونه خلاصه می‌شود: آغاز حرکت نامحسوس (تکان‌های ضربه‌ای) قطار، شتاب گرفتن نامحسوس، ترمز و ایستادن نامحسوس و صرفه‌جویی در مصرف برق. از این پس منطق فازی بسیار سریع در فناوری دستگاه‌های صوتی و تصویری ژاپنی‌ها راه یافت (از جمله لرزیدن تصویر فیلم دیجیتال ضمن لرزیدن دست فیلم‌بردار). اروپایی‌ها بسیار دیر، یعنی در اواسط دهه ۱۹۹۰ میلادی، پس از خوابیدن موج بحث‌های علمی در رابطه با منطق فازی استفاده صنعتی از آن را آغاز کردند.

منطق فازی از جمله منطق‌های چندارزشی است و بر نظریه مجموعه‌های فازی تکیه می‌کند. مجموعه‌های فازی، خود از تعمیم و گسترش مجموعه‌های قطعی به صورتی طبیعی حاصل می‌آیند.

برای مثال برای یک کنترل‌کننده فازی نوعی داریم:

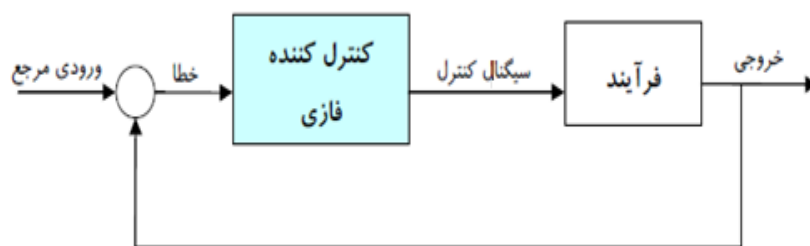
۱- اگر خطا منفی بود و مشتق خطا منفی بود، آنگاه خروجی خیلی منفی می‌باشد.

۲- اگر خطا منفی بود و مشتق خطا صفر بود، آنگاه خروجی کمی منفی باشد. و...

به مجموعه قواعد یک کنترل‌کننده فازی، "پایگاه قواعد" می‌گوییم. قواعد به شکل آشنای "اگر - آنگاه" می‌باشند.

با مجموعه قواعدی نظیر فوق، کامپیوتر قادر خواهد بود با در نظر گرفتن خطا و مشتق خطا برنامه مربوطه را اجرا کرده و سیگنال کنترلی (خروجی کنترل‌کننده) را محاسبه کند.

کنترل‌کننده‌های فازی در شکل‌های مختلف کنترل ظاهر شده‌اند که یکی از پرکاربردترین آنها کنترل مستقیم است که در شکل زیر نشان داده شده است.

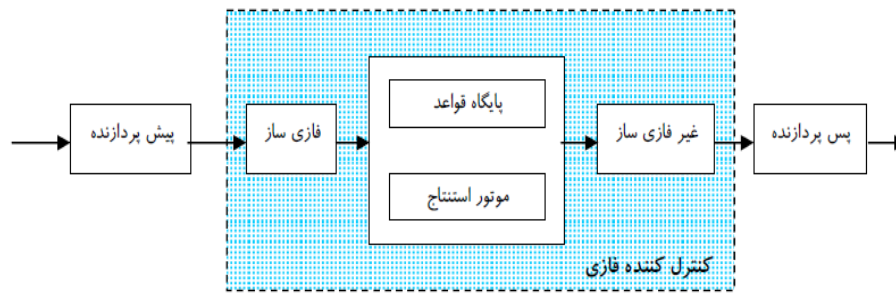


شکل ۱- نمایش بلوکی استفاده از کنترل‌کننده فازی به صورت مستقیم.

در این حالت کنترل‌کننده فازی در مسیر پیشرو یک سیستم کنترلی فیدبک‌دار قرار می‌گیرد. خروجی فرآیند با ورودی مرجع مقایسه شده و در صورت وجود خطا کنترل‌کننده یک سیگنال کنترلی مطابق استراتژی کنترلی خود تولید می‌کند. لازم به ذکر است که ورودی کنترل‌کننده می‌تواند مشخصه‌های دیگری از سیستم نظیر مشتق خطا، انتگرال خطا و یا ترکیبی از آنها نیز باشد.

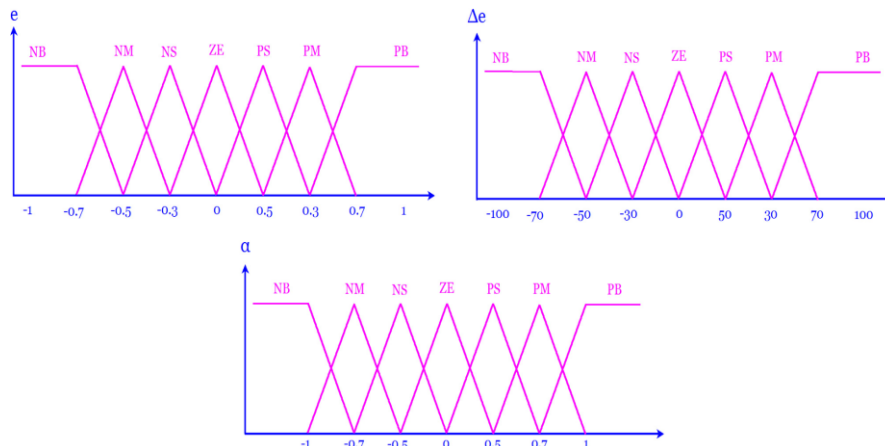
یک کنترل‌کننده فازی از چهار بخش اصلی فازی‌کننده، پایگاه قواعد، بخش تصمیم‌گیری، غیرفازی‌کننده تشکیل شده است.

شکل زیر نمایشی از یک کنترل‌کننده فازی را نمایش می‌دهد. معمولاً قبل و بعد از کنترل‌کننده فازی به ترتیب پیش‌پردازنده و پس‌پردازنده استفاده می‌شود.



شکل ۲- دیاگرام بلوکی ساختار کنترل کننده فازی

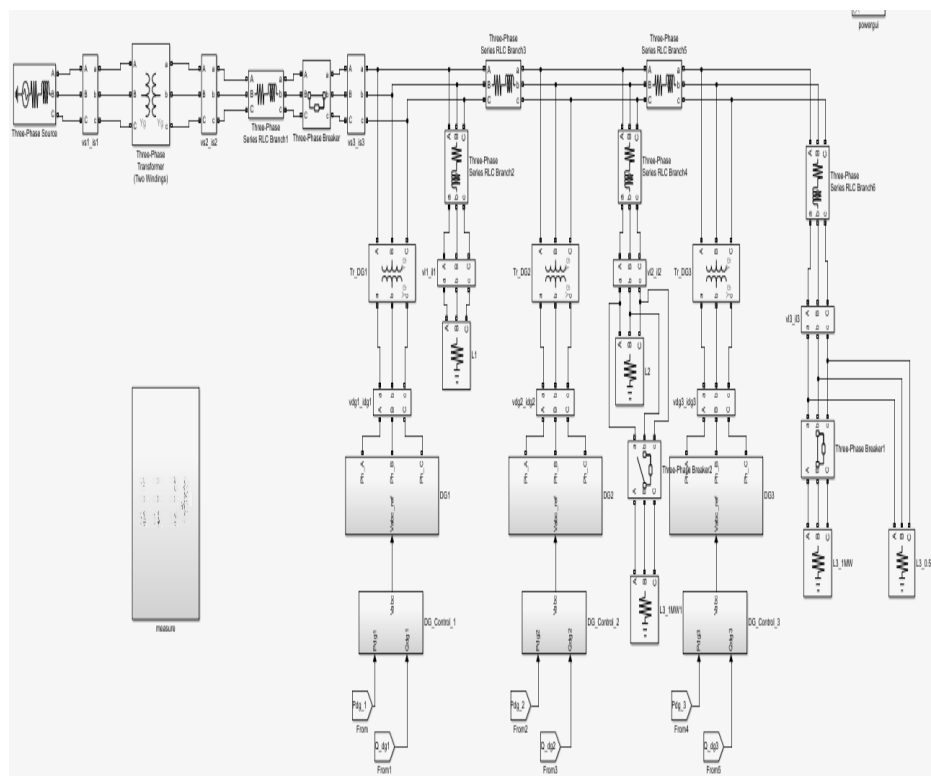
در شکل زیر توابع عضویت طراحی شده برای سلول خورشیدی را مشاهده می کنید. ورودی های سیستم عبارت از جریان و ولتاژ پنل خورشیدی می باشد و سیگنال خروجی بدست آمده به بلوک تولیدکننده فرمان سوییچ ماسفت برای مبدل بوست اعمال می شود.



شکل ۳- توابع عضویت طراحی شده برای ورودی و خروجی کنترلر فازی.

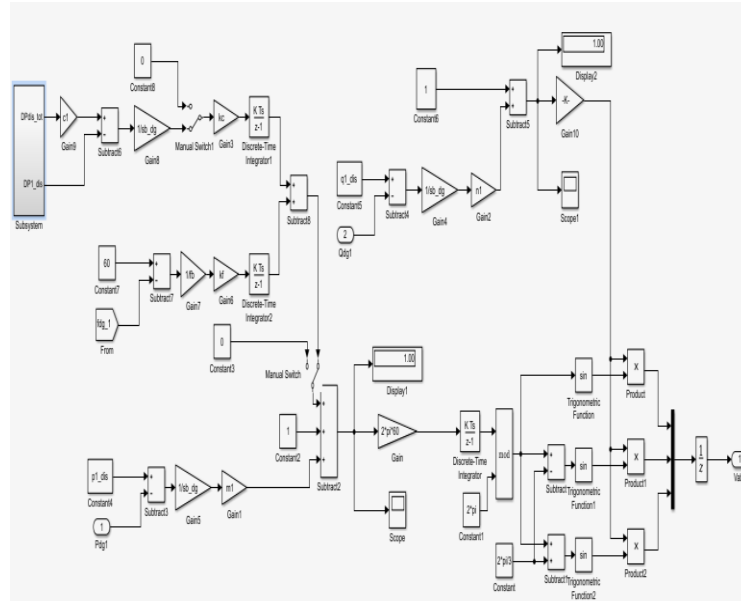
سیستم میکروگرید مورد شبیه سازی تشکیل شده از سه منبع تولیدپراکنده و بار های مختلف می باشد که در زمان مشخصی از شبکه قدرت جدا شده و به صورت مستقل کار میکنند.

در شکل ۴-۱ به بررسی دقیق نمای کلی از سیستم شبیه سازی نشان داده شده است. سیستم شبکه قدرت با فرکانس ۶۰ هرتز و ولتاژ ۶۹ کیلوولت کار میکند که با استفاده از ترانسفورماتور قدرت در مکان بار الکتریکی به ولتاژ ۱۳.۸ کیلوولت و سپس با استفاده از ترانسفورماتور بعدی به ولتاژ ۴.۱۴ کیلوولت کاهش می یابد. میکروگرید در ابتدا شبیه سازی متصل به شبکه می باشد و در زمان ۱ ثانیه از شبکه قدرت جدا شده و به صورت مستقل کار میکند. بار الکتریکی قرار گرفته در میکروگرید تشکیل شده از سه بار با توان ۱.۵ مگاوات می باشد که در ۲ ثانیه ۱ مگاوات از مدار خارج می شود و در زمان ۲.۸ ثانیه بار بسیار بزرگی با مقدار ۱۲ مگاوات در مدار قرار میگیرد. تاثیر این تغییرات به وجود آمده در سیستم نتایج خروجی قابل مشاهده می باشد و هم چنین باید در نظر داشت که سیستم با استفاده از روش کنترلی بیان شده در حالت پایدار خود باقی بماند و دچار مشکل نشود و فرکانس و ولتاژ از حد مجاز خود خارج نشوند.

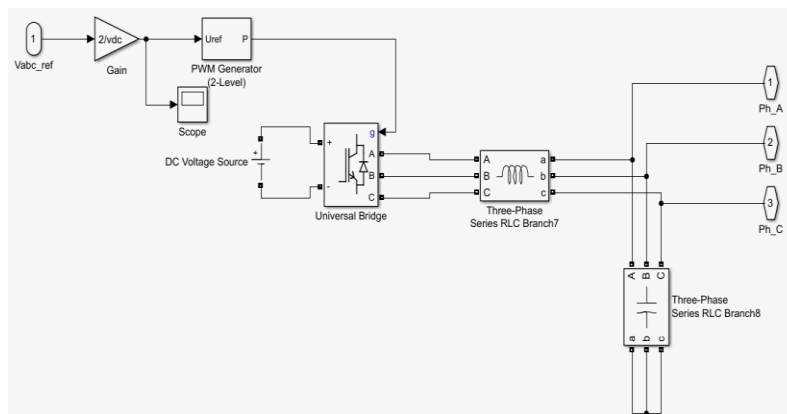


در شکل ۴ نیز سیستم کنترلی به کار رفته برای تولیدات پراکنده نشان داده می شود که باید در نظر داشت این طرح کنترلی از ۳ بخش اصلی تشکیل شده است که بخش اول شامل کنترل droop متداول می باشد که با توجه تغییرات به وجود آمده در فرکانس و توان تولیدی سعی در کاهش و به حداقل رساندن تغییرات به وجود آمده ناشی از تغییرات بار و اغتشاشات اعم از افت ولتاژ و خطا در شبکه قدرت را دارد

۳۹



شکل ۵- سیستم کنترلی به کار رفته برای تولیدات پراکنده.

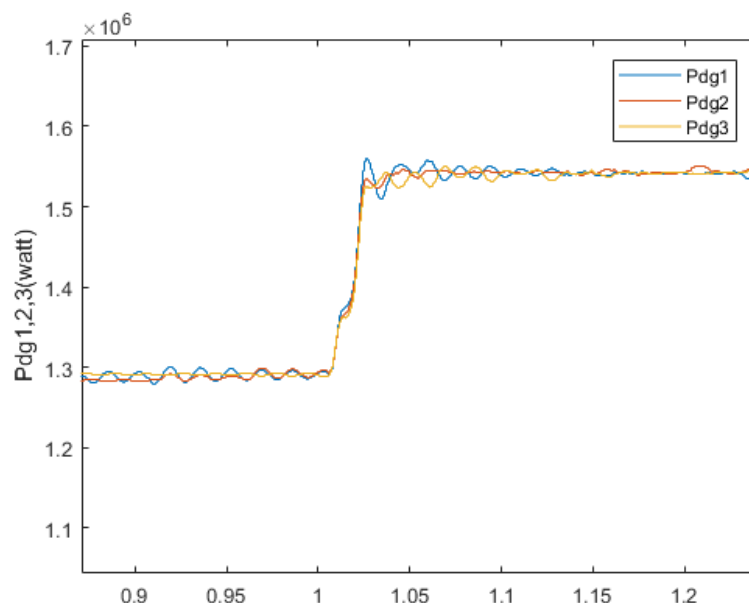


شکل ۶- نمای کلی از معادل سازی سیستم تولید پراکنده.

۳. تجزیه و تحلیل نتایج خروجی

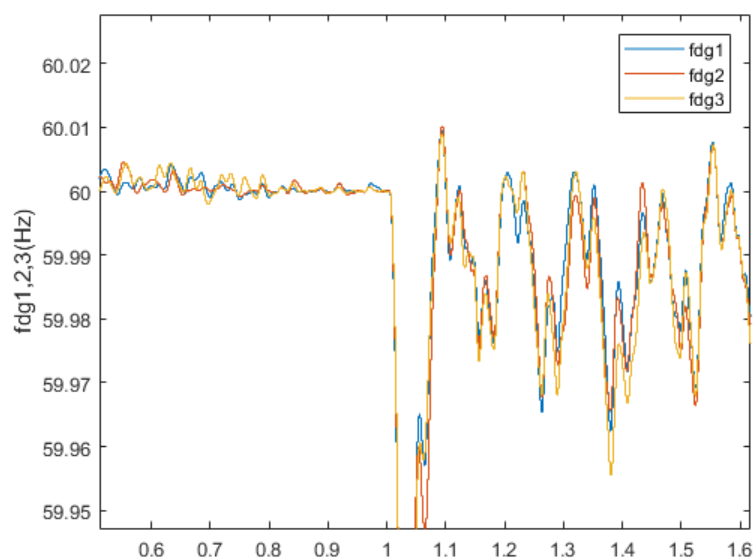
در این بخش به بررسی دقیق شکل های حاصل شده از خروجی می پردازیم. در شکل زیر به ترتیب نتایج خروجی بدست آمده مشاهده می شود.

در شکل ۷ شکل موج مربوط به تولیدات پراکنده مشاهده می شود. در زمان مربوط به یک ثانیه مربوط به تغییر اول مقدار تولیدی اکتیو بر حسب وات به دلیل تغییر از حالت متصل به شبکه قدرت به حالت جزیره ای می باشد که در بخش ابتدایی تغییرات موجود رخ می دهد. سپس مشاهده می شود که ریز شبکه قدرت در دومین بخش خود در زمان دو ثانیه بار خروجی کاهش پیدا میکند که در این زمان شاهد کاهش مقدار توان تولیدی واحد DG می باشیم. در زمان ۲.۸ ثانیه به بعد بار بزرگی در مدار قرا میگیرد که باعث می شود مقدار توان تولیدی واحد تولید پراکنده افزایش پیدا کند. و سیستم کمی از ناپایداری قبلی خود فاصله بگیرد که برای رفع مشکل بهتر است که از شبکه قدرت برای تامین توان مورد نیاز کمک دریافت کند.



شکل ۷- توان اکتیو خروجی بدست آمده از تولید پراکنده سه واحد مختلف در کنار هم.

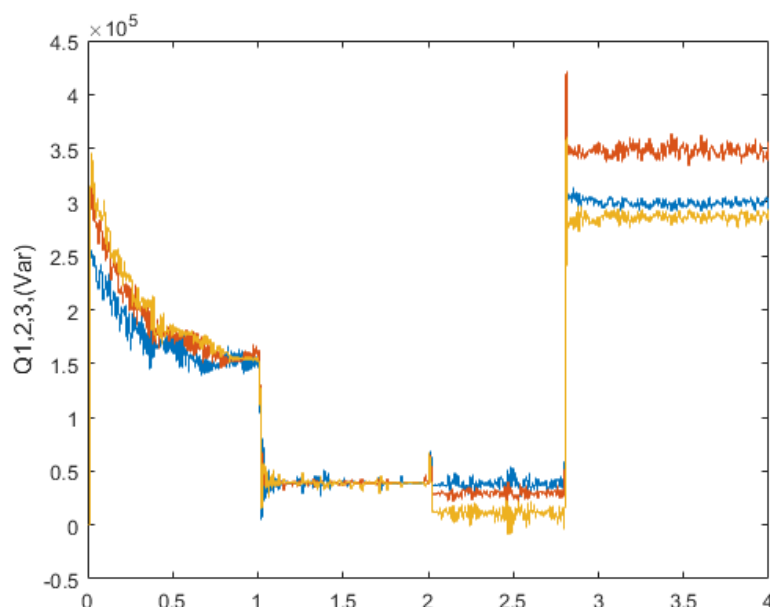
فرکانس خروجی مدار در شکل ۸ در زمان های تغییر بار دچار تغییر می شود. هم چنین مشاهده می شود در زمان ۲.۸ ثانیه که بار بزرگی در مدار قرار میگیرد فرکانس خروجی مدار دارای تغییر بیشتری می باشد و نمیتواند به مقدار استاندارد خود برگردد که علت محدودیت در توان تولیدی واحد DG می باشد.



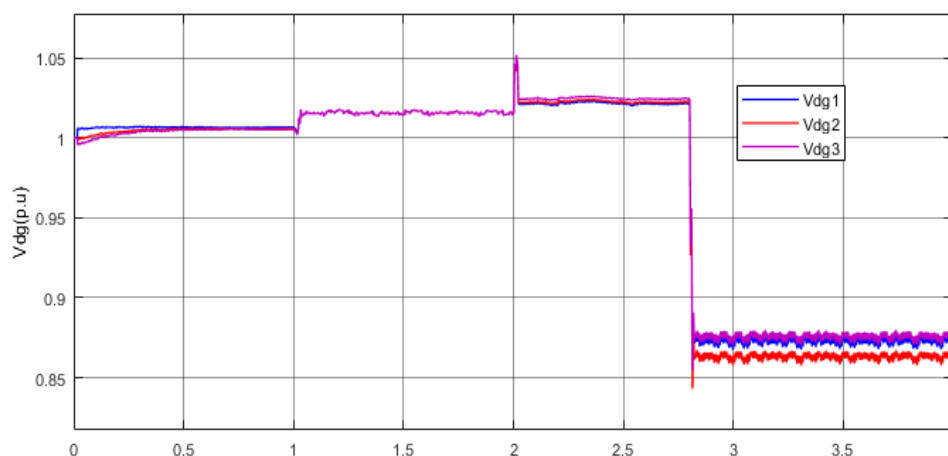
شکل ۸- فرکانس خروجی بدست آمده از تولید پراکنده سه واحد مختلف در کنار هم.

در شکل ۴-۹ نیز به بیان پارامتر مرتبط با توان راکتیو خروجی واحد تولید پراکنده نیز در زمان های تغییر بار خروجی مدار دچار تغییر می شود که بیشترین مقدار تغییر در زمان ۲.۸ ثانیه می باشد که مقدار بار بیشتری در مدار قرار میگیرد.

در شکل ۴-۱۰ نیز توان راکتیو خروجی واحد تولید پراکنده هر سه مورد در کنار هم نشان داده می شود.



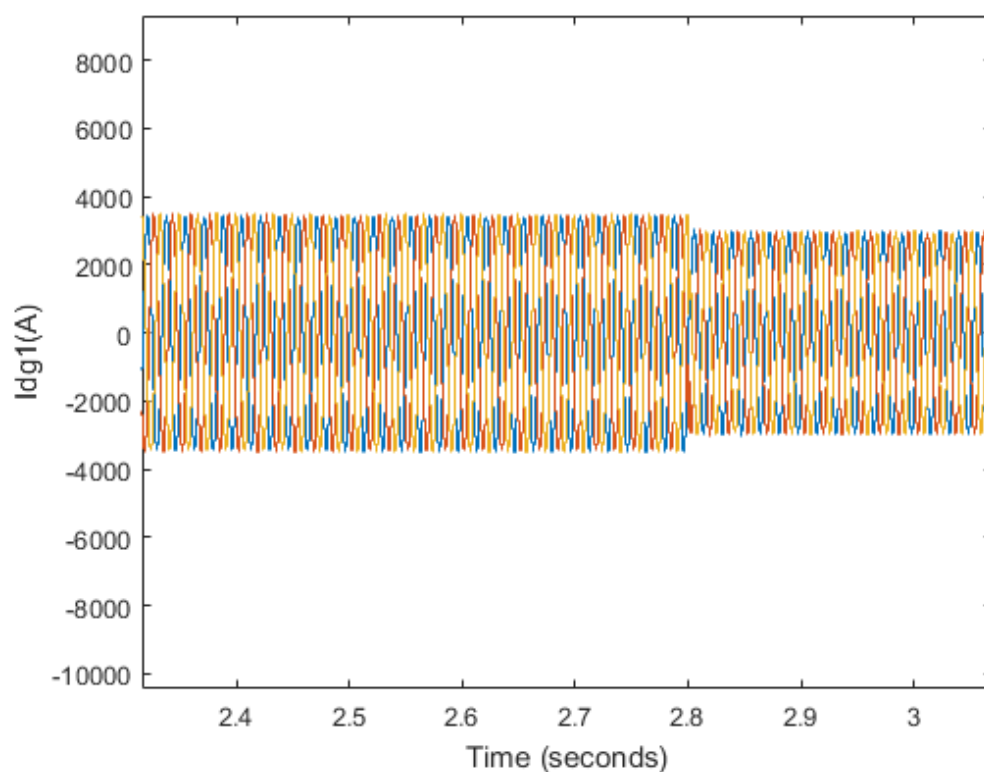
شکل ۹-توان راکتیو خروجی بدست آمده از تولید پراکنده سه واحد مختلف در کنار هم.



شکل ۱۰- ولتاژ خروجی بدست آمده از تولید پراکنده سه واحد مختلف در کنار هم.

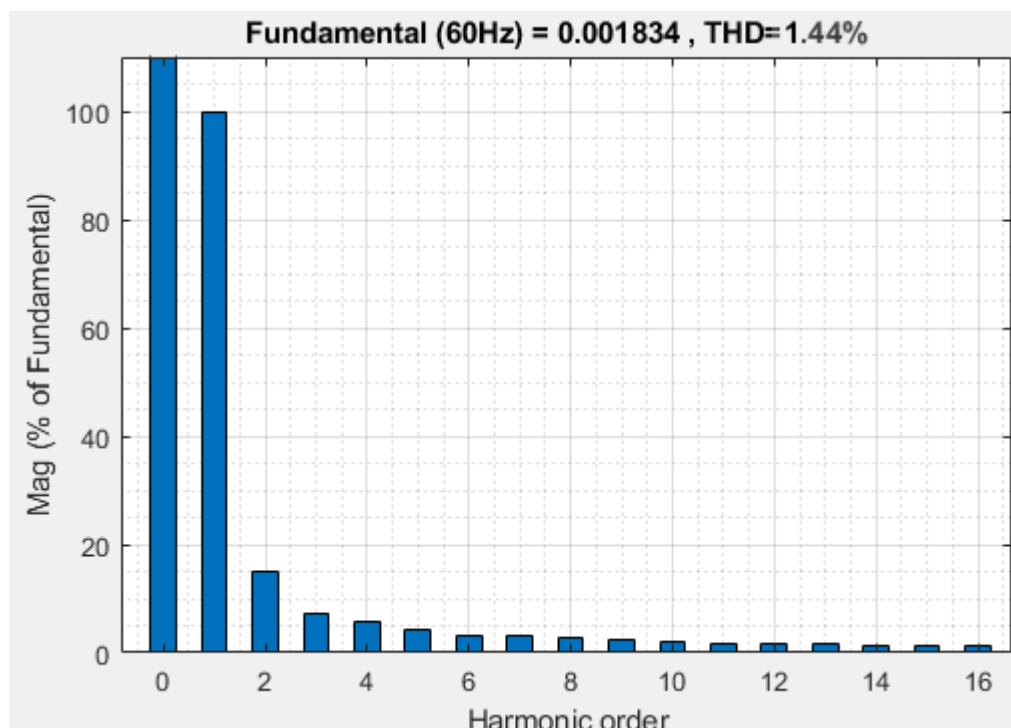
شکل ۱۰ به بررسی دقیق پارامتر مرتبط با ولتاژ خروجی واحدهای DG نیز همانند دیگر پارامتر دچار تغییر می شوند که به علت تغییر بار خروجی در مدار می باشد. مشاهده می شود که میزان آن بر حسب پریونیت در باس مرتبط با تولیدات

پراکنده در حد استاندارد خود می باشد ولی در زمان ۲.۸ ثانیه به علت وارد شدن بار اکتیو بسیار بزرگ سیستم از حالت پایدار فاصله می گیرد و نیاز است که از شبکه قدرت برای بهبود پایداری کمک بگیرد.



شکل ۱۱-جریان خروجی بدست آمده از تولید پراکنده شماره اول.

شکل ۱۱ نیز به بیان دقیق پارامتر مربوط به جریان خروجی واحد تولید پراکنده شماره اول در مدار بالا مشاهده می شود که بسته به مقدار بار خروجی قرار گرفته در مدار دامنه جریان خروجی تولیدات پراکنده نیز تحت تاثیر قرار می گیرند.



شکل ۱۲- شکل موج مربوط به هارمونیک ولتاژ تولید پراکنده.

در شکل ۱۲ شکل موج مربوط به هارمونیک ولتاژ تولید پراکنده را مشاهده میکنید که مقدار ۱.۴۴ درصد دارد که نسبت به مقاله مرجع [۲۵] میزان آن با روش کنترلی استفاده شده کاهش پیدا کرده است.

در جدول زیر زیر میزان THD و انحراف فرکانس الکتریکی برای بار خروجی حاصل شده بیان می شود که نشان از کاهش مناسب آن دارد.

میزان THD بدست آمده از بار خروجی

روش پیشنهادی	مقاله مرجع [۲۵]	روش دروپ کنترل	
۱.۵۴	۱.۶۶	۱.۷۱	میزان THD (%)
۰.۱۵	۰.۲	۰.۲۵	انحراف فرکانس (Hz)

۱۲. نتیجه‌گیری

در یک شبکه تولید، توزیع و انتقال برق پایداری ولتاژ و فرکانس هر دو باهم از اهمیت بالایی برخوردار است. زیرا پایداری شبکه و حفاظت از آن به ثابت نگه داشتن فرکانس و جلوگیری از افت ولتاژ بستگی دارد. فرکانس شبکه متأثر از اختلاف میان تولید و مصرف است. این اختلاف یا بر اثر افزایش ناگهانی بار بوجود می‌آید و یا بر اثر خروج واحدهای تولید که در این حالت مصرف ثابت است ولی تولید کاهش یافته که منجر به کاهش فرکانس می‌شود. در این حالت برای جبران فرکانس و جلوگیری از ناپایداری شبکه، می‌بایستی حذف بار صورت گیرد. همچنین اختلاف میان بار راکتیو و تولید توان راکتیو منجر به کاهش ولتاژ شبکه می‌شود. در صورتی که شبکه توانایی تامین توان راکتیو بار را نداشته باشد شبکه روبه ناپایداری می‌رود. در این حالت برای جبران ولتاژ شبکه و توان راکتیو شبکه از بانک خازنی و روزه‌ای دیگری مانند تپ ترانس‌ها استفاده می‌شود. در صورتی که این روش‌ها نیز باعث جبران ولتاژ نشوند، نیاز به به کارگیری روش‌های کنترلی جدید می‌باشد تا اثرات مخرب حاصل شده در ریزش‌بکه را کاهش دهد. یکی از موضوعات مهم و اساسی ریزش‌بکه‌ها، در حالت جدا از شبکه قدرت، کنترل فرکانس و ولتاژ است. در این پایان نامه روشی مبتنی بر استفاده از روش کنترلی تولیدات پراکنده بر اساس توزیع توان اکتیو و بازیابی فرکانس در شبکه میکروگرید در حالت عملکرد جزیره ای ارائه شده است. کنترل‌کننده پیشنهادی فازی در حلقه کنترل جبران قرار دارد و با اعمال سیگنال کنترلی به منابع، اغتشاشات فرکانس به‌دنبال تغییرات توان در ریزش‌بکه کاهش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی انجام‌شده در محیط متلب/سیمولینک ارائه شده بیانگر صحت و درستی روش پیشنهادی می‌باشد.

۱۲. منابع و مراجع

1. K. Agbossou, M. Kolhe, J. Hamelin and T.K. Bose, "Performance of a stand-alone renewable energy system based on energy storage as hydrogen," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 19, No. 3, pp. 633 – 640, Sept. 2004.
2. K. Agbossou, R. Chahine, J. Hamelin, F. Laurencelle, A. Anourar, J.-M. St-Arnaud and T.K. Bose, "Renewable energy systems based on hydrogen for remote applications," Journal of Power Sources, Vol. 96, pp. 168-172, 2001.
3. H. Dehbonei, "Power conditioning for distributed renewable energy generation," Ph.D. Dissertation, Curtin University of Technology, Perth, Western Australia, 2003.
4. F. A. Farret and M. G. Simões, Integration of Alternative Sources of Energy, John Wiley & Sons, Inc., 2006.
5. Øystein Ulleberg, "Stand-Alone Power Systems for the Future: Optimal Design, Operation & Control of Solar-Hydrogen Energy Systems," Ph.D. Dissertation, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 1998.
6. R. H. Lasseter, "MicroGrids," Proceedings, 2002 IEEE PES Winter Meeting, Vol. 1, pp. 305-308, 2002.
7. IEEE Std 1547, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, 2003.
8. Khatib, Tamer, and Wilfried Elmenreich. Modeling of photovoltaic systems using matlab: simplified green codes. John Wiley & Sons, 2016.
9. Femia Nicola, Petrone Giovanni, Spagnuolo Giovanni. "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method". IEEE Trans Power Electron 2005;20(4):963–73.

10. Bastidas-Rodriguez Juan David, Franco Edinson, Petrone Giovanni, RamosPaja Carlos Andrés, Spagnuolo Giovanni. "Maximum power point tracking architectures for photovoltaic systems in mismatching conditions: a review". *IET Power Electron* 2014;7:1396–413.
11. Abdelsalam Ahmed K, Massoud Ahmed M, Ahmed Shehab, Enjeti Prasad N. "High performance adaptive perturb and observe MPPT technique for photovoltaic-based micro grids". *IEEE Trans Power Electron* 2011;26(4):1010–21.
12. Uma Maheswara Bala Murali, Rao Ch V.Krishna, Srihari Babu A, Suman S. "Design and simulation of PV system with incremental conductance method for maximum power point tracking". *International Journal of Scientific Engineering and Technology (ISSN: 2277-1581);* 3(5): 2014. p.643-46.
13. Radjai Tawfik, Rahmani Lazhar, Mekhilef Saad, Gaubert Jean Paul. "Implementation of a modified incremental conductance MPPT algorithm with direct control based on a fuzzy duty cycle change estimator using dSPACE". *Sol Energy* 2014;110:325–37.
14. Fangrui, Kang Yong, Zhang Yu and Duan Shanxu. "Comparison of P&O and Hill Climbing MPPT Methods for Grid-Connected PV Converter". In: *Proceedings of the 3rd IEEE conference on industrial electronics and applications, ICIEA 2008*.
15. Tarek Boutabbasaïd Drid and MEHB enbouzid. "Maximum power point tracking control for photovoltaic system using adaptive neuro- fuzzy ANFIS". In: *Proceedings of the eighth international conference and exhibition on ecological vehicles and renewable energies (EVER);* 2013.
16. Bounechbaa H, Bouzida A, Nabtib K, Benalla H. "Comparison of perturb & observe and fuzzy logic in maximum power point tracker for PV systems". *Energy Procedia* 2014;50:677–84.
17. Khanaki, Razieh, M. A. M. Radzi, and M. Hamiruce Marhaban. "Comparison of ANN and P&O MPPT methods for PV applications under changing solar irradiation." In *Clean Energy and Technology (CEAT), 2013 IEEE Conference on*, pp. 287-292. IEEE, 2013.
18. [Ramaprabha R, Mathur BL. Genetic algorithm based maximum power point tracking for partially shaded solar photovoltaic array. (March). *Int J Res Rev Inf Sci (IJRRIS)* 2012;2(1):161–3.
19. Kulaksız Ahmet Afsin, Akkaya Ramazan. A genetic algorithm optimized ANN based MPPT algorithm for a stand-alone PV system with induction motor drive. *Sol Energy* 2012;86:2366–75.
20. Harrag Abdelghani, Messalti Sabir. Variable step size modified P&O MPPT algorithm using GA-based hybrid offline/online PID controller. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;49:1247–1260.
21. Mohammadi, M., S. H. Hosseini, and G. B. Gharehpetian. "GA-based optimal sizing of microgrid and DG units under pool and hybrid electricity markets." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 35.1 (2012): 83-92.
22. Obara, Shin-ya, and Abeer Galal El-Sayed. "Compound microgrid installation operation planning of a PEFC and photovoltaics with prediction of electricity production using GA and numerical weather information." *International journal of hydrogen energy* 34.19 (2009): 8213-8222.
23. Zhang, Shi, et al. "Optimal microgrid partition strategy of distribution generation based on advanced GA." *Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA), 2010 International Conference on*. Vol. 2. IEEE, 2010.

24. Moradi, Mohammad H., Mohammad Abedini, and S. Mahdi Hosseinian. "Optimal operation of autonomous microgrid using HS-GA." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 77 (2016): 210-220.
25. Gheisarnejad, M., Mohammadi-Moghadam, H., Boudjadar, J. and Khooban, M.H., 2019. Active power sharing and frequency recovery control in an islanded microgrid with nonlinear load and nondispatchable DG. *IEEE Systems Journal*, 14(1), pp.1058-1068.

Application of Adaptive Fuzzy Control Strategy in Microgrid with Presence of DG

Hasan bahrami¹, Sayed Iman Sayedi²,

¹Department of Electrical Engineering, Zarindasht Branch, Islamic Azad University, Zarindasht, Iran , SI.Sayedi@iau.ac.ir

²Department of Electrical Engineering, Zarindasht Branch, Islamic Azad University, Zarindasht, Iran , hasanbahrami1690@gmail.com

Abstract— In this paper, we study the microgrid network including solar energy, battery and supercapacitor using fuzzy controller. Due to the voltage changes in the DC bus, it is necessary to adjust the solar cell and the battery using the control method and converter. Also, with the help of batteries and supercapacitors, this equipment is used when there is a need for more power in the load. Supercapacitors are used for instantaneous times and batteries for longer periods of time to power output loads. A fuzzy control system is a control system based on the fuzzy-mathematical logic of a system that analyzes analog input values in terms of the logical variables they contain and is used in several parts of the system to improve performance. The simulation is performed in MATLAB / Simulink software and the output results confirm the accuracy and validity of the system used.

Keywords: Microgrid, Voltage stabilization, Fuzzy control, Solar cell, Supercapacitor, Energy management