

ارزیابی امنیت ریزش‌بکه مستقل ولتاژ متوسط دارای منابع با واسط الکترونیک قدرت در حضور اختلالات توان و بار با استفاده از شبکه عصبی - فازی تطبیقی

مهتاب پارسی^۱ محمود جورابیان^۲ گئورگ قره پتیان^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول- دزفول- ایران

mahtabpars@gmail.com

۲- استاد- دانشکده مهندسی - دانشگاه شهید چمران اهواز - اهواز- ایران

mjoorabian@scu.ac.ir

۳- استاد- دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی امیرکبیر- تهران- ایران

grptian@aut.ac.ir

چکیده: در شبکه‌های توزیع سنتی انحراف‌های فرکانس و ولتاژ به عنوان شاخصی برای تشخیص امنیت سیستم محسوب می‌شود. در حالیکه در یک ریزش‌بکه مستقل دارای منابع با واسط الکترونیک قدرت، انحراف‌های فرکانس و ولتاژ در ریزش‌بکه در اثر اختلالات توان و بار به خوبی توسط کنترلر فرکانس- توان حقیقی و کنترلر ولتاژ- توان واکنشی کنترل می‌شود. از این رو برخلاف آن چه در شبکه‌های توزیع سنتی روی می‌دهد، انحراف‌های فرکانس و ولتاژ برای تشخیص امنیت ریزش‌بکه مستقل دارای منابع با واسط الکترونیک قدرت موضوع مهمی به شمار نمی‌رود. اما در یک ریزش‌بکه مستقل تعادل بین تولید و مصرف توان به عنوان شاخصی برای ارزیابی امنیت آن خصوصاً در هنگام بروز اختلالات توان و بار در نظر گرفته می‌شود. از این رو اگر این تعادل در ریزش‌بکه ایجاد نشود، ریزش‌بکه غیرایمن به شمار می‌رود. در این صورت نیاز به اقدامات پیشگیرانه‌ای از قبیل ریزش بار و تنظیم تولید در کوتاهترین زمان در ریزش‌بکه باید صورت گیرد. در این مقاله یک استراتژی جدید برای بررسی امنیت دینامیکی ریزش‌بکه در هنگام وقوع اختلالات توان و بار و همچنین استفاده از شبکه عصبی- فازی تطبیقی (ANFIS) برای بررسی این موضوع پیشنهاد شده است. همچنین در صورت تشخیص غیرایمن بودن ریزش‌بکه، پیش‌بینی اعمال کنترلی پیشگیرانه‌ای توسط دیگر شبکه‌های عصبی- فازی تطبیقی (ANFIS) پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: امنیت ریزش‌بکه، دروپ فرکانس، دروپ ولتاژ، ریزش بار، منابع با واسط الکترونیک قدرت، شبکه عصبی- فازی تطبیقی (ANFIS)

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۳/۴/۸

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۸/۱۶

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر محمود جورابیان

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران- اهواز- بلوار گلستان- دانشگاه شهید چمران اهواز- دانشکده مهندسی

۱- مقدمه

منافع اقتصادی، پیشرفت‌های تکنولوژی در زمینه‌ی منابع تولیدپراکنده و ادوات الکترونیک قدرت، نیاز روز افزون به افزایش کیفیت توان و قابلیت اطمینان، نگرانی درباره‌ی اثرات زیست محیطی تولید انرژی مشوق‌هایی برای افزایش استفاده از منابع انرژی پراکنده در سیستم‌های قدرت است که منجر به یک مفهوم جدید بنام ریزشبکه (MG) شده است [۱] و [۷-۱۰].

یک ریزشبکه مجموعه‌ای از منابع تولیدپراکنده و بارها است. دسته‌بندی‌های گوناگونی برای منابع انرژی در ریزشبکه‌ها مطرح شده است. یکی از این موارد، دسته‌بندی بر اساس نحوه‌ی اتصال منابع انرژی به ریزشبکه است. بر این اساس یک دسته واحدها از طریق ماشین سنکرون به ریزشبکه متصل می‌شوند و دسته دیگر آنهایی هستند که واسط الکترونیک قدرت، واسطه‌ی اتصال به ریزشبکه را فراهم می‌کند. در ریزشبکه‌ها دارای منابع تولیدپراکنده با واسط الکترونیک قدرت برای عملکرد در حالت گذرای شبکه و یا تغییرات تقاضای بار معمولاً به یک سیستم ذخیره انرژی (DS) خصوصاً در هنگامی که ریزشبکه در حالت جزیره مستقل بهره‌برداری می‌شود نیاز است [۱۱-۱۳].

ریزشبکه می‌تواند در دو حالت متصل به شبکه و جزیره مستقل بهره‌برداری شود [۶-۵]. در حالت اتصال به شبکه اصلی، سیستم توزیع می‌تواند به عنوان باس الکتریکی اسلک مطرح شود و برای حفظ توازن توان در ریزشبکه هر اختلاف توان تولیدی را تامین/ جذب نماید [۱۴-۱۵]. اما هنگامی که به دلیل افت ولتاژها، خطاها، خاموشی و ... ریزشبکه به آرامی به حالت بهره‌برداری جزیره مستقل منتقل شود، توازن توان در ریزشبکه‌ی مجزا خصوصاً در هنگام بروز اختلالات توان و بار به عنوان یک موضوع حیاتی برای ادامه بهره‌برداری ایمن ریزشبکه مطرح می‌شود. در صورتی که در حالت جزیره‌ی مستقل به دلیل اختلالات توان و یا افزایش مصرف بار، منابع تولیدپراکنده‌ی موجود در ریزشبکه قادر به تامین توان نباشند می‌توان از سیستم ذخیره‌ی انرژی بهره جست [۱۶] که البته به دلیل محدودیت آن نیز در صورت نیاز باید اقدام به ریزش بار نمود. اما کمترین میزان ریزش بار و رسیدن سریع‌تر به حالت تعادل توان در ریزشبکه موضوعی است که باید به آن دست یافت.

در ریزشبکه برای تحقق ویژگی نصب و برداشت دلخواه منابع؛ کنترل دروپ فرکانس و ولتاژ برای تنظیم توان حقیقی و واکنشی بکار گرفته می‌شود. در این روش سهم هر منبع با واسط اینورتری بر اساس مشخصه منحنی دروپ بدست می‌آید که این امر موجب پاسخ‌گویی سریع و با اختصاص میزان مرجع به هر واحد باعث جلوگیری از آسیب به تولیدات پراکنده خواهد شد [۱۷-۲۱]. انحراف فرکانس را می‌توان با تعریف مشخصه دروپ فرکانسی محدود نمود و حتی با استفاده از حلقه احیای فرکانس آن را به مقدار نامی باز گرداند. همچنین با استفاده از

مشخصه دروپ ولتاژ نیز تغییرات ولتاژ ترمینال محدود شده است. در نتیجه واحدهای تولیدپراکنده با واسط الکترونیک قدرت به انحراف ولتاژ ناشی از تغییرات ریزشبکه و یا بار محلی در محدوده‌ی مجاز واکنش نشان می‌دهند [۳-۴]. پس با این روش می‌توان فرکانس و ولتاژ ریزشبکه را تنظیم نمود به گونه‌ای که مانع از خروج آنها از مقدار مجاز شد. این امر موجب می‌شود بر خلاف سیستم‌های سنتی در ریزشبکه‌ها انحراف‌های فرکانس و ولتاژ به عنوان شاخصی برای ارزیابی امنیت ریزشبکه مورد توجه قرار نگیرد. پس بدین ترتیب یافتن روش‌هایی برای تشخیص سریع امنیت ریزشبکه‌ی مستقل خصوصاً در هنگام بروز اختلالات توان و بار موضوع حائز اهمیت است. همچنین در صورت غیرامن بودن ریزشبکه، انجام اقدامات فوری برای بهره‌برداری ایمن ریزشبکه امری ضروری است که باید مورد بررسی قرار گیرد. برای ارزیابی امنیت ریزشبکه به روش سنتی دقیق‌ترین روش حل مجموعه‌ای از معادلات غیرخطی است که روش محاسباتی بسیار سخت و وقت‌گیری است. اما استفاده از ابزار بر پایه هوش مصنوعی جایگزینی مناسب برای توصیف سریع و دقیق امنیت ریزشبکه است.

در [۲۲] انحراف فرکانس و عملکرد تجهیزات ذخیره‌ساز در ریزشبکه مورد بررسی قرار گرفته است و شاخصی برای ارزیابی امنیت ریزشبکه در مورد انتقال پیش‌بینی نشده به حالت مجزا در هنگام اختلالات در شبکه ولتاژ متوسط بالا دست ارائه شده است. در این مقاله استفاده از شبکه عصبی مصنوعی^۸ (ANN) به دلیل سرعت محاسباتی در عملکرد آنلاین و انعطاف‌پذیری آن برای پیش‌بینی اعمال اصلاحی در حالت‌های عملیاتی نامن به منظور دستیابی به یک انتقال روان بین عملکرد متصل و مجزا مورد تاکید قرار گرفته است.

در [۲۳] نیز برای ارزیابی امنیت شبکه توزیع سنتی، انحراف ولتاژ مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله نیز برای ارزیابی امنیت شبکه استاندارد ۹ باس از شبکه عصبی مصنوعی بهره جسته است.

وقتی سیستمی تنها با شبکه‌های عصبی مصنوعی طراحی می‌شوند، شبکه به صورت جعبه‌ی سیاهی است که احتیاج به تعریف شدن دارد. این مساله، یک فرایند شدیداً محاسباتی و سنگین است. بعد از تجربیات و تمرینات وسیعی در مورد پیچیدگی شبکه موردنظر و الگوریتم یادگیری که باید استفاده کند و درجه دقتی که در این کاربرد قابل قبول است، طراح می‌تواند به یک رضایت نسبی دست یابد.

اگر عملکردهای منطق فازی^۹ را در شبکه‌های عصبی و یادگیری شرکت دهیم، و طبقه‌بندی کردن شبکه‌های عصبی را در سیستم‌های فازی شریک گردانیم، آنگاه قصور و نواقص شبکه‌های عصبی و سیستم‌های فازی را می‌توان پوشش داد. نتیجه این کار، یک شبکه عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS) خواهد بود.

در شبکه‌ی عصبی - فازی تطبیقی، ابتدا قسمت شبکه‌ی عصبی، برای یادگیری آن و طبقه‌بندی کردن توانایی‌ها و به منظور پیوند الگو و اصلاح الگو به کار می‌رود. قسمت شبکه‌ی عصبی به طور خودکار، قواعد منطق فازی و توابع عضویت را در طول دوره تناوب



$$\Delta\omega(s) = -\Delta P_L(s) \left[\frac{b}{1 + \rho \left(\frac{1}{1 + sT_G} \right) b} \right] + \Delta P_{L-ref}(s) \left[\frac{b}{(1 + sT_G) + \rho b} \right] \quad (1)$$

در رابطه (۱) دروپ کنترلر فرکانس - توان حقیقی با یک بهره (b) مدل شده است. همچنین حلقه‌ی احیای فرکانس با یک بهره (ρ) و یک تابع درجه اول پس‌فاز با ثابت زمانی T_G مدل شده است. برای اختصاص تغییرات بار و ΔP_{L-ref} نقطه تنظیمی مرجع بار، برای اختصاص فرکانس مرجع، به هر نقطه‌ی توان خروجی در نظر گرفته شده‌اند [۲۵].

انحراف در پاسخ فرکانسی حالت گذرا برای کنترلر با تنظیم بدست می‌آید:

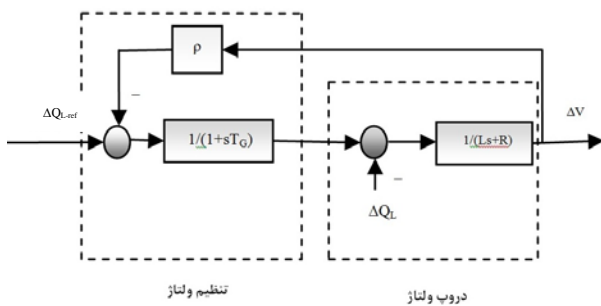
$$\frac{1}{s} = 0 \quad (2)$$

$$\Delta\omega = -b\Delta P_L \quad (2)$$

انحراف در پاسخ فرکانسی حالت ماندگار برای کنترلر با تنظیم بدست می‌آید [۲۵]:

$$\Delta\omega = (-\Delta P_L + \Delta P_{L-ref}) \left(\frac{1}{\frac{1}{b} + \rho} \right) \quad (3)$$

شکل (۲) نمودار بلوکی کنترلر ولتاژ- توان واکنشی را نشان می‌دهد. تنظیم ولتاژ در کنترلر ولتاژ- توان واکنشی شامل یک حلقه‌ی احیای ولتاژ است. این حلقه با یک بهره (ρ) برای خطای ولتاژ و یک ثابت زمانی (T_G) مدل شده است. تغییرات بار و ΔQ_{L-ref} نقطه تنظیمی مرجع بار، برای اختصاص ولتاژ مرجع، به هر نقطه‌ی توان خروجی در نظر گرفته شده‌اند [۲۵].



شکل (۲): نمودار بلوکی کنترلر ولتاژ- توان واکنشی برای یک واحد تولیدپراکنده با واسط الکترونیک قدرت [۲۵]

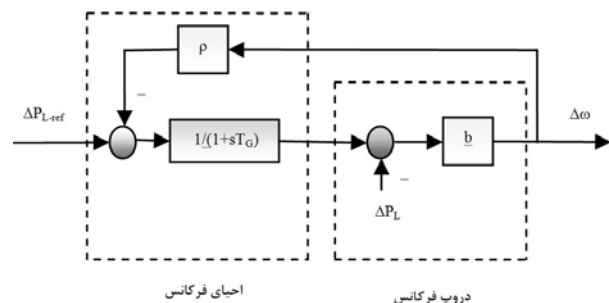
بارهای واکنشی وابسته به ولتاژ هستند، توان واکنشی واحد تولیدپراکنده با واسط الکترونیک قدرت بر اساس انحراف در ولتاژ باس تغییر می‌کند. در نتیجه واحد تولیدپراکنده با واسط الکترونیک قدرت به انحراف ناشی از تغییرات ریزشبهه و یا بار محلی واکنش نشان می‌دهد. از این رو واحد تولیدپراکنده می‌تواند بار واکنشی را تامین نماید.

یادگیری ایجاد می‌کند. در مجموع، حتی پس از یادگیری، شبکه‌ی عصبی به اصلاح توابع عضویت و قواعد منطق فازی ادامه می‌دهد، به گونه‌ای که از سیگنال‌های ورودی آن بیشتر و بیشتر یاد می‌گیرد. از طرف دیگر، منطق فازی برای استنباط و مهیا نمودن یک خروجی قطعی یا غیر فازی شده (وقتی که متغیرهای فازی ایجاد می‌شوند) مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲].

در این مقاله امنیت یک ریزشبهه‌ی مستقل ولتاژ متوسط دارای منابع با واسط الکترونیک قدرت در حضور اختلالات توان و بار مورد بررسی قرار گرفته است و تاثیر مشخصه‌های دروپ در انحراف فرکانس و ولتاژ در حضور این اختلالات دیده شده است. برای ارزیابی سریع امنیت ریزشبهه‌ی مورد مطالعه در حضور اختلالات توان و بار از شبکه عصبی - فازی تطبیقی استفاده شده است. در صورت غیر ایمن بودن ریزشبهه، شبکه‌های عصبی - فازی تطبیقی دیگر برای پیش‌بینی حداقل میزان تنظیم تولید و ریزش بار برای رسیدن سریع‌تر به حالت ایمن ریزشبهه نیز پیشنهاد شده است.

۲- بررسی انحراف فرکانس و ولتاژ در ریزشبهه مستقل ولتاژ متوسط دارای منابع با واسط الکترونیک قدرت

در شبکه‌های توزیع سنتی، خصوصاً در نمونه‌های مجزا، موضوع حیاتی برای ارزیابی امنیت سیستم، ماکزیمم انحراف‌های فرکانس و ولتاژ از مقدار نامی در شرایط مختلف بهره‌برداری (حضور اختلالات توان و بار) است. اما در ریزشبهه دارای منابع با واسط الکترونیک قدرت استراتژی دروپ که برای مدیریت توان بکار می‌رود با محدودسازی فرکانس و ولتاژ مانع از خروج آنها از مقدار مجاز می‌شود. همچنین با استفاده از حلقه‌ی احیای فرکانس و ولتاژ امکان بازیابی فرکانس و ولتاژ تا مقدار نامی نیز فراهم می‌شود. شکل (۱) نمودار بلوکی کنترلر فرکانس- توان حقیقی را نشان می‌دهد.



شکل (۱): نمودار بلوکی کنترلر فرکانس- توان حقیقی برای یک واحد تولیدپراکنده با واسط الکترونیک قدرت [۲۵]

برای یک واحد تولیدپراکنده با واسط الکترونیک قدرت متصل شده به ریزشبهه، ارتباط بین انحراف فرکانس و تغییر بار برابر است با:

جدول (۱): مشخصات ریزشبهه

پارامتر	توضیح	مقادیر
$P_{max DG_1}$	حداکثر توان حقیقی DG_1	۱ / ۷۵ MW
$P_{max DG_2}$	حداکثر توان حقیقی DG_2	۳ / ۲ MW
m_{DG_1}	ضریب دروپ $P-F$ ، DG_1	۰ / ۵۷ Hz / MW
m_{DG_2}	ضریب دروپ $P-F$ ، DG_2	۰ / ۳۱۲۵ Hz / MW
$Q_{max DG_1}$	حداکثر توان واکنشی DG_1	۰ / ۷۵ MVar
$Q_{max DG_2}$	حداکثر توان واکنشی DG_2	۱ / ۸ MVar
n_{DG_1}	ضریب دروپ $Q-V$ ، DG_1	۰ / ۰۳۲ kV / MVar
n_{DG_2}	ضریب دروپ $Q-V$ ، DG_2	۰ / ۰۱۶ kV / MVar
f	فرکانس سیستم	۵۰ Hz
Z_1	امپدانس خط ۱	۰ / ۰۳۳۱ + j۰ / ۰۲
Z_2	امپدانس خط ۲	۰ / ۰۱۸۸ + j۰ / ۰۰۶۸
Z_3	امپدانس خط ۳	۰ / ۰۲۵۱ + j۰ / ۰۰۳۵
L_{f_1}, L_{f_2}	اندوکتانس فیلتر سری VSC	۰ / ۰۰۰۴ H
R_{f_1}, R_{f_2}	مقاومت فیلتر سری VSC	۰ / ۰۰۲ Ω
C_{f_1}, C_{f_2}	ظرفیت خازن فیلتر موازی بار	۲۵۰۰ μF
V_{L-L}	ولتاژ خط	۲۰ kV

۱-۴- تولید مجموعه داده

مجموعه داده شامل نمونه‌هایی از رفتار سیستم است که به شرایط متنوع عملکرد سیستم وابسته می‌باشد. برای انتخاب ورودی‌های شبکه عصبی - فازی تطبیقی باید به این نکته توجه داشت که این مجموعه داده بتواند به سادگی رفتار سیستم را بیان نماید و در ضمن از زیادی تعداد شاخص‌ها برای شبکه‌ی عصبی - فازی تطبیقی پرهیز شود. همچنین ورودی‌های شبکه‌ی عصبی - فازی تطبیقی شامل مجموعه‌ای از متغیرهای قابل مانیتورینگ و کنترل باشد تا در صورت شناسایی حالت‌های عملیاتی غیر امن، اعمال کنترلی پیشگیرانه در سیستم اجرا شود.

به منظور تولید دانش در مورد رفتار دینامیکی ریزشبهه مجموعه داده‌ها شامل مجموع توان تولیدی منابع پراکنده و مجموع توان مصرفی ریزشبهه برای اختلالات توان و بار از پیش تعیین شده به صورت آفلاین از شبیه‌سازی با نرم افزار PSCAD/EMTDC بدست آمده است و برای ارزیابی امنیت ریزشبهه در نرم افزار MATLAB مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۱-۴-۱- نرمالیزه کردن مجموعه داده

به دلیل این که فرآیند آموزش برای هر مشخصه در یک مقیاس می‌تواند سرعت آموزش را افزایش دهد بنابراین باید مجموعه داده را

برای تولید مشخصه دروپ ولتاژ ارتباط بین انحراف ولتاژ و تغییر بار عبارت است از:

$$\Delta V(s) = \left[\frac{-\Delta Q_L(s)}{Ls+R} \right] + \left[\frac{\Delta Q_{L-ref}(s)}{Ls+R} \right] \left[\frac{1}{(1+sT_G)+\rho} \right] \left[\frac{1}{Ls+R} \right] \quad (4)$$

انحراف در پاسخ فرکانسی حالت ماندگار برای کنترلر ولتاژ-توان واکنشی با تنظیم $s=0$ بدست می‌آید:

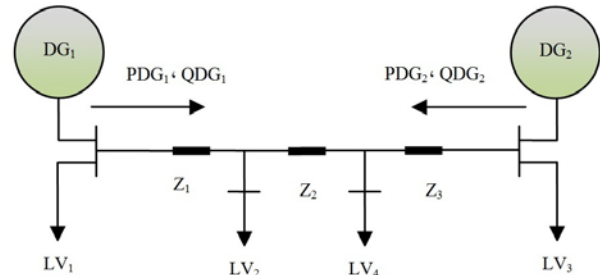
$$\Delta V = \frac{-\Delta Q_L}{R+\rho} + \frac{\Delta Q_{L-ref}}{R+\rho} \quad (5)$$

انحراف در توان واکنشی تولید شده توسط منبع با واسط الکترونیک قدرت ΔQ_G است که تغییر در بار واکنشی توسط تغییر در خروجی مولد تامین می‌شود پس داریم [25]:

$$\Delta V = \frac{-\Delta Q_G}{R+\rho} + \frac{\Delta Q_{L-ref}}{R+\rho} \quad (6)$$

۳- سیستم مورد مطالعه

شکل (۳) یک دیاگرام تک خطی ریزشبهه ولتاژ متوسط را نشان می‌دهد.

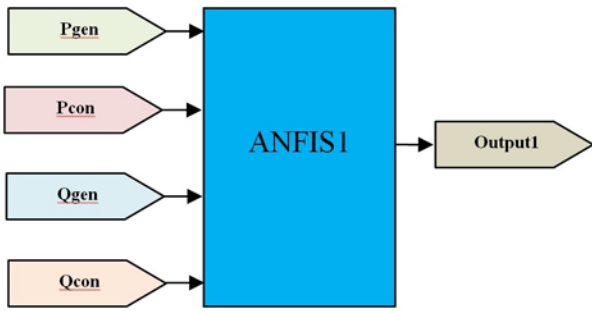


شکل (۳): ریزشبهه مورد مطالعه

فرض شده که ریزشبهه در حالت جزیره مستقل بهره‌برداری می‌شود. هر واحد تولیدپراکنده می‌تواند با توجه به محدودیت از پیش تعیین شده مقداری توان حقیقی/ واکنشی را تامین کند. مشخصات ریزشبهه مورد مطالعه در جدول (۱) ذکر شده است.

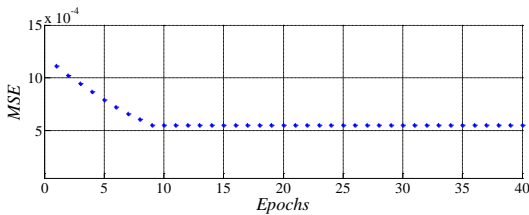
۴- شبکه عصبی - فازی تطبیقی برای ارزیابی امنیت ریزشبهه

در این روش برای ارزیابی امنیت ریزشبهه‌ی مستقل باید سطح بالایی از اطلاعات با توجه به رفتار دینامیکی ریزشبهه از مجموعه کلان داده‌ها استخراج شود. در ادامه، ابتدا مجموعه داده تولید می‌شود و سپس شبکه‌ی عصبی - فازی تطبیقی برای بررسی امنیت ریزشبهه طراحی خواهد شد که در صورت تشخیص غیر امن بودن ریزشبهه نیز شبکه‌های عصبی - فازی تطبیقی دیگر برای پیشنهاد اعمال کنترلی پیشگیرانه طراحی شده‌اند.



شکل (۵): شبکه عصبی - فازی تطبیقی برای بررسی امنیت ریزش شبکه

شکل (۶) میانگین خطا در هر دسته برای شبکه طراحی شدهی شکل (۵) را نشان می‌دهد.



شکل (۶): میانگین خطا در هر دسته برای ANFIS1

حال در صورتی که شبکه ANFIS1 ریزش شبکه را غیر ایمن تشخیص دهد، اقدامات فوری برای توازن توان در ریزش شبکه مانند ریزش بار و تنظیم تولید مورد نیاز است. پیش‌بینی کمترین میزان ریزش بار و حداقل میزان ظرفیت ذخیره‌ساز با استفاده از شبکه‌های ANFIS2 و ANFIS3 امکان‌پذیر است. این موضوع در ادامه بررسی خواهد شد.

۴-۲-۱- طرح کنترلی پیشنهادی برای ریزش شبکه غیر امن

همانطور که پیش‌تر ذکر شد عدم توازن توان در ریزش شبکه به عنوان معیاری برای تشخیص امنیت سیستم بیان می‌شود. در این صورت اگر ریزش شبکه غیر ایمن باشد طرحی برای هماهنگ‌سازی تولید و مصرف در ریزش شبکه مورد نیاز است. برای این منظور، فاصله بین نقطه بهره‌برداری و مرز ایمنی می‌تواند برای میزان ریزش بار و تنظیم تولید (در صورت وجود امکان استفاده از ذخیره‌ساز با ظرفیت محدود و یا اتصال به شبکه) در ریزش شبکه مورد استفاده قرار گیرد. اگر امکان اتصال به شبکه و یا استفاده از ذخیره‌ساز وجود نداشته باشد تنها باید با استفاده از ریزش بار به مرز ایمنی ریزش شبکه دست یافت.

برای بیان این طرح کنترلی همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است محور افقی به مجموع توان مصرفی و محور عمودی به مجموع توان تولیدی در ریزش شبکه اختصاص یافته است. سه نقطه در شکل در نظر گرفته شده‌اند که عبارتند از:

نقطه A, B, X_n

$$A(S_{con_t_A}, S_{gen_t}),$$

$$B(S_{con_t}, S_{gen_t_B}),$$

$$X_n(S_{con_t_n}, S_{gen_t_n}),$$

نرمالیزه کرد. مجموعه داده با استفاده از روش مینیمم-ماکزیمم [۲۳] نرمالیزه شده است و تمام مشخصات در مقیاس جدید بین ۰-۱ قرار گرفتند.

$$x'_i = \frac{x_i - Min_{value}}{Max_{value} - Min_{value}} (Max_{t\ arg\ et} - Min_{t\ arg\ et}) + Min_{t\ arg\ et} \quad (7)$$

Max_{value} : ماکزیمم مقدار اولیه x

Min_{value} : مینیمم مقدار اولیه x

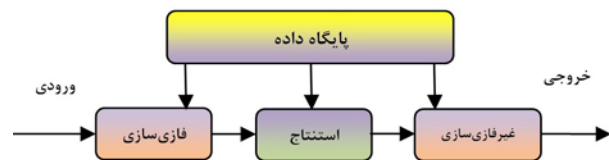
$Max_{t\ arg\ et}$: ماکزیمم مقدار برای محدوده مقیاس

$Min_{t\ arg\ et}$: مینیمم مقدار برای محدوده مقیاس

مجموعه داده نرمالیزه شده بدست آمده به دو گروه آموزش و صحت شبکه تقسیم می‌شوند. مجموعه آموزش برای آموزش ANFIS مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای بررسی صحت خروجی شبکه، خروجی با مجموعه داده صحت مقایسه می‌شود.

۴-۲- طرح پیشنهادی برای بررسی امنیت ریزش شبکه با شبکه عصبی - فازی تطبیقی

برای ارزیابی امنیت ریزش شبکه مستقل استفاده از شبکه عصبی - فازی تطبیقی پیشنهاد شده است. در شکل (۴) سیستم استنتاج فازی نشان داده شده است.



شکل (۴): سیستم استنتاج فازی

شکل (۵) شبکه عصبی - فازی تطبیقی برای ارزیابی امنیت ریزش شبکه را نشان می‌دهد. ورودی‌های این شبکه شامل مجموع توان حقیقی و واکنشی تولیدی و مصرفی در ریزش شبکه است.

$$Pgen = \sum_{k=1}^n Pgen_k \quad (8)$$

$$Qgen = \sum_{k=1}^n Qgen_k \quad (9)$$

$$Pcon = \sum_{h=1}^m Pcon_h \quad (10)$$

$$Qcon = \sum_{h=1}^m Qcon_h \quad (11)$$

خروجی آن نیز به صورت نشانه‌های باینری 0^1 و 1 است. نشانه 0 برای جزیره ناموفق و نشانه 1 برای جزیره موفق در نظر گرفته شده است. هنگامی که در ریزش شبکه مستقل توان مصرفی بیشتر از توان تولیدی باشد، جزیره ناموفق و در غیر این صورت جزیره موفق است.

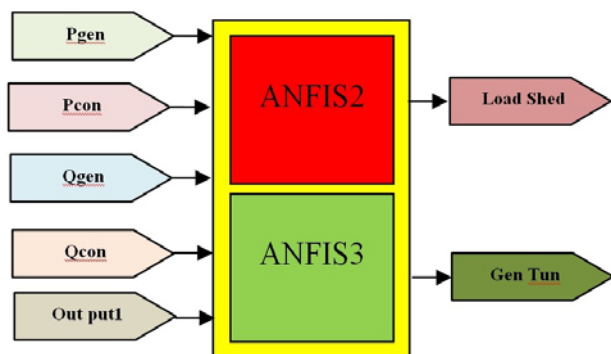
اگر امکان تنظیم تولید وجود داشته باشد و نخواهیم ریزش بار وجود داشته باشد داریم:

$$\overline{PB} = S_{gen_t_B} - S_{gen_t} \quad (18)$$

۲-۲-۴- طراحی شبکه‌های عصبی- فازی تطبیقی برای اقدامات کنترلی در ریزشکته غیرامن

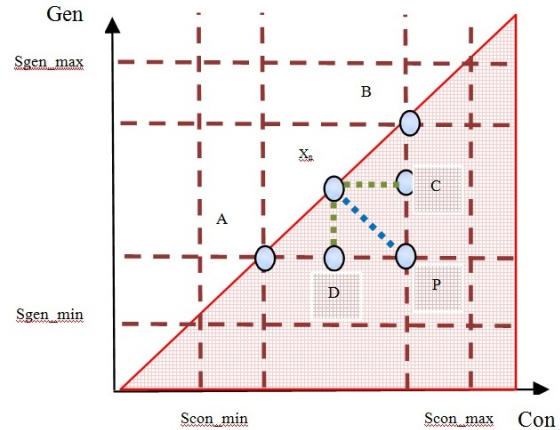
برای طرح هماهنگ‌سازی ریزشکته نیز از شبکه‌های عصبی- فازی تطبیقی استفاده شده است. ورودی‌های شبکه عصبی- فازی تطبیقی، مجموع توان تولیدی توسط منابع با واسط الکترونیک قدرت، مجموع توان مصرفی فیدها، نشانه ۰ یا ۱ برای تشخیص امن بودن ریزشکته است. از خروجی ANFIS2 میزان ریزش بار و از خروجی ANFIS3 میزان تنظیم تولید را می‌توان بدست آورد. دو شبکه ANFIS به صورت موازی در نظر گرفته شده که در هر کدام تعداد ورودی ۵ و خروجی ۱ می‌باشد. طراحی مرحله به مرحله به صورت زیر خلاصه می‌شود:

- (۱) مجموعه آموزشی جمع‌آوری شده برای کنترل‌کننده ANFIS تحت تغییرات تولید و مصرف توان حقیقی و واکنشی بدست می‌آید.
- (۲) مجموعه داده با استفاده از روش مینیمم- ماکزیمم نرمالیزه شده است و تمام مشخصات در مقیاس جدید بین ۰-۱ قرار گرفتند.
- (۳) پس از بدست آوردن مجموعه داده، ساختار ANFIS کامل می‌شود.
- (۴) پس از ایجاد ساختار کنترل‌کننده، ANFIS آموزش دیده، با خطای کوچک در شکل های ۶، ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.



شکل (۸): طرح هماهنگ‌سازی ریزشکته غیرامن

شکل (۹) میانگین خطا در هر دسته برای شبکه طراحی شدهی به منظور پیش‌بینی حداقل میزان ریزش بار را نشان می‌دهد.



شکل (۷): محاسبه کوتاهترین فاصله از مرز ایمنی

X_n نقطه‌ای بین A و B بر روی مرز ناحیه‌ی امن است. برای تولید داریم:

$$S_{gen_t} \in [S_{gen_min}, S_{gen_max}] \quad (12)$$

برای مصرف داریم:

$$S_{con_t} \in [S_{con_min}, S_{con_max}] \quad (13)$$

در لحظه t ، سیستم در نقطه P که در بیرون از ناحیه ایمن ریزشکته است اما هنوز در محدوده‌ی طبیعی ولتاژ و فرکانس است بهره‌برداری می‌شود. (به دلیل استفاده از منابع تولیدپراکنده با واسط الکترونیک قدرت و روش دروپ برای مدیریت توان، تنظیم فرکانس و ولتاژ صورت می‌گیرد و آنها از محدوده مجاز خارج نمی‌شوند)

$$S_{gen_t_n} \in [S_{gen_t}, S_{gen_t_B}] \quad (14)$$

$$S_{con_t_n} \in [S_{con_t_A}, S_{con_t}] \quad (15)$$

فرض می‌شود در صورتی که تولید و مصرف با هم برابر باشند نیمی‌ساز، مرز ناحیه امن جزیره است. در غیر این صورت ناحیه قرمز رنگ ناحیه غیر امن ریزشکته است که باید طرحی برای هماهنگ‌سازی ریزشکته در این ناحیه در نظر گرفت. کوتاهترین فاصله از نقطه بهره‌برداری تا مرز ایمنی خطی عمود است که بر مرز ایمنی رسم می‌شود فاصله این خط برابر است با:

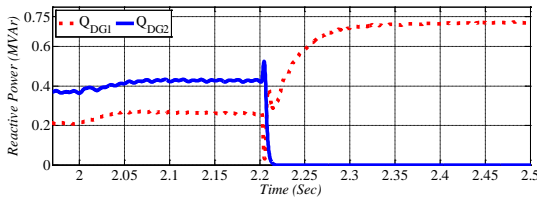
$$PX_n = \sqrt{(S_{con_t} - S_{con_t_n})^2 + (S_{gen_t_n} - S_{gen_t})^2} \quad (16)$$

$$PD = S_{con_t} - S_{con_t_n}$$

$$PC = S_{gen_t_n} - S_{gen_t}$$

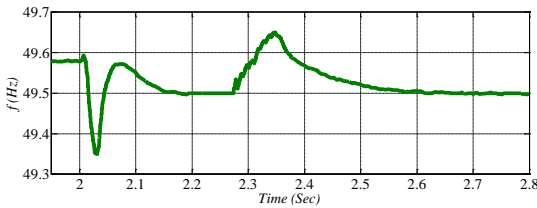
PD حداقل میزان ریزش بار و PC حداقل میزان تنظیم تولید را نشان می‌دهند که در روش پیشنهادی توسط ANFIS2 و ANFIS3 پیش‌بینی می‌شوند. اگر امکان تنظیم تولید وجود نداشته باشد و تنها با ریزش بار خواهیم به مرز ایمنی دست یابیم این مقدار برابر است با:

$$\overline{PA} = S_{con_t} - S_{con_t_A} \quad (17)$$

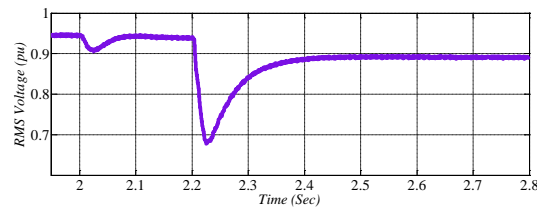


شکل (۱۲): میزان توان واکنشی تولیدی تولیدات پراکنده در ریزشبهه مورد مطالعه در هنگام اختلالات توان و بار

در هنگام این اختلالات میزان انحراف فرکانس و ولتاژ در ریزشبهه در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است.

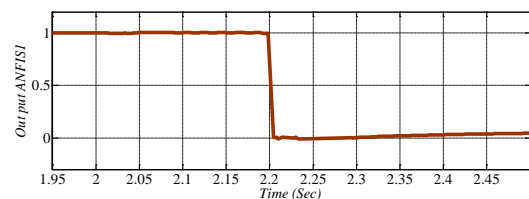


شکل (۱۳): میزان انحراف فرکانس در ریزشبهه مورد مطالعه در هنگام اختلالات توان و بار

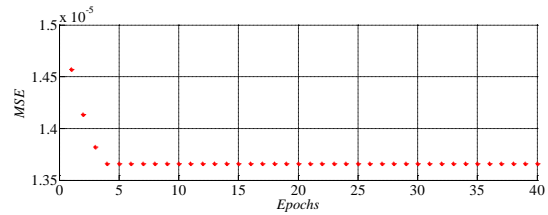


شکل (۱۴): میزان انحراف ولتاژ در ریزشبهه مورد مطالعه در هنگام اختلالات توان و بار

در اثر تغییرات توان و بار در ریزشبهه مورد مطالعه، فرکانس ریزشبهه تغییر نموده است که به دلیل استفاده از مشخصه دروپ این تغییرات محدود می‌باشند. به گونه‌ای که تغییرات برای فرکانس حدود ۰/۵ هرتز است. همچنین ولتاژ ریزشبهه نیز تغییر نموده است که به دلیل استفاده از مشخصه دروپ تغییرات آن نیز محدود است و حدود ۰/۹ است. پس بدین ترتیب انحراف فرکانس و ولتاژ نمی‌تواند شاخصی برای ارزیابی امنیت ریزشبهه در نظر گرفته شود. در شکل (۱۵) روش پیشنهادی برای ارزیابی امنیت ریزشبهه با استفاده از شبکه عصبی - فازی تطبیقی نشان داده شده است.

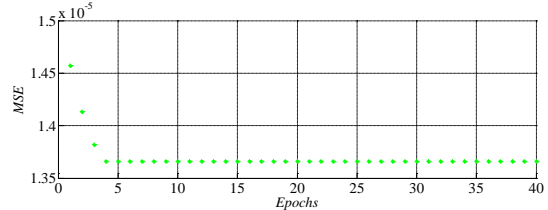


شکل (۱۵): ارزیابی امنیت ریزشبهه مورد مطالعه در هنگام اختلالات توان و بار با استفاده از ANFIS1



شکل (۹): میانگین خطا در هر دسته برای ANFIS2

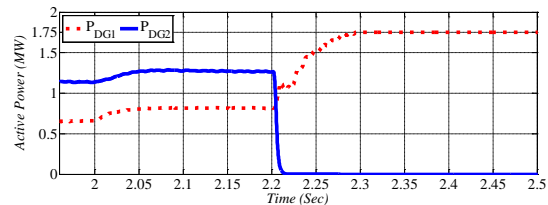
شکل (۱۰) میانگین خطا در هر دسته برای شبکه طراحی شده به منظور پیش‌بینی حداقل میزان تنظیم تولید را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰): میانگین خطا در هر دسته برای ANFIS3

۵- نتایج در ریزشبهه مورد مطالعه

برای ارزیابی امنیت ریزشبهه مورد مطالعه در شرایط مختلف دو آزمایش انجام شده است. در آزمایش اول در لحظه ۲ ثانیه افزایش بار استاتیکی در فیدر یک رخ داده است و در لحظه ۲/۲ ثانیه تولید پراکنده ۲ قطع شده است. شکل (۱۱) توان حقیقی تولیدات پراکنده در هنگام اختلالات توان و بار را نشان می‌دهد.



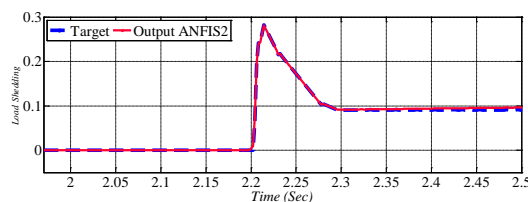
شکل (۱۱): میزان توان حقیقی تولیدی تولیدات پراکنده در ریزشبهه مورد مطالعه در هنگام اختلالات توان و بار

با افزایش تقاضای توان در ۲ ثانیه، این تقاضا با روش دروپ بین تولیدات پراکنده به اشتراک گذاشته می‌شود. اما هنگامی که در لحظه ۲/۲ ثانیه به دلیل بروز مشکلاتی، ناگهان تولید پراکنده ۲ قطع می‌شود، تولید پراکنده ۱ برای پاسخ‌گویی به تقاضای بارهای ریزشبهه میزان توان حقیقی تولیدی خود را تا مقدار حداکثر افزایش می‌دهد، اما با این وجود قادر به تامین تقاضای بارهای ریزشبهه نیست.

شکل (۱۲) میزان توان واکنشی تولیدات پراکنده در ریزشبهه در هنگام اختلالات توان و بار را نشان می‌دهد. در ریزشبهه مستقل طبق رابطه (۵) و (۶) تغییر بار توسط تولیدات پراکنده تامین خواهد شد. همچنین در هنگامی که تولید پراکنده ۲ قطع شده است، تولید پراکنده ۱ با افزایش توان، توان واکنشی ریزشبهه را تامین می‌کند.

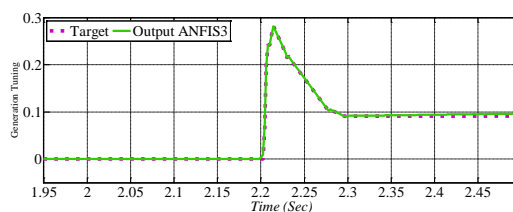
همان طور که در شکل (۱۵) نشان داده شده است در لحظه ۲ ثانیه تقاضای بار در ریزشبهه افزایش یافته است اما به دلیل امکان تامین تقاضای بار توسط تولیدات پراکنده ریزشبهه ایمن است که خروجی ۱، ANFIS1 این موضوع را تصدیق می کند. اما هنگامی که در لحظه ۲/۲ ثانیه تولید پراکنده ۲ قطع می شود، تولید پراکنده ۱ به تنهایی قادر به تامین تقاضای بار در ریزشبهه نخواهد بود و این عدم توازن توان منجر به غیر ایمن بودن ریزشبهه خواهد شد که خروجی ۰، ANFIS1 این موضوع را به خوبی تصدیق می کند.

حال که به دلیل بروز اختلالات توان ریزشبهه غیر ایمن شده است برای بهره برداری ایمن ریزشبهه باید با استفاده از طرح هماهنگ سازی پیشنهادی، حداقل میزان ریزش بار و حداقل میزان تنظیم تولید را برای ایمن سازی ریزشبهه بدست آورد. شکل (۱۶) با استفاده از شبکه عصبی - فازی تطبیقی ۲ حداقل میزان ریزش بار را برای ایمن سازی ریزشبهه در هنگام بروز اختلالات توان نشان می دهد. میزان دقیق حداقل ریزش بار که از رابطه (۱۶) بدست آمده نیز در شکل (۱۶) نشان داده شده است. مقایسه این دو شکل، نشان دهنده دقت بالای شبکه عصبی - فازی تطبیقی ۲ برای پیش بینی حداقل میزان ریزش بار در هنگام بروز اختلالات است.



شکل (۱۶): پیش بینی حداقل میزان ریزش بار با استفاده از ANFIS2

با توجه به امکان استفاده از ذخیره ساز در ریزشبهه در هنگام بروز اختلالات توان و بار، شکل (۱۷) پیش بینی حداقل میزان تنظیم تولید را با استفاده از شبکه عصبی - فازی تطبیقی ۳ نشان می دهد. میزان دقیق حداقل تنظیم تولید که از رابطه (۱۶) بدست آمده نیز در شکل (۱۷) نشان داده شده است. مقایسه این دو شکل، نشان دهنده دقت بالای شبکه عصبی - فازی تطبیقی ۳ برای پیش بینی حداقل میزان تنظیم تولید در هنگام بروز اختلالات است.



شکل (۱۷): پیش بینی حداقل میزان تنظیم تولید با استفاده از ANFIS3

در لحظه ۲/۲ ثانیه به دلیل قطع ناگهانی تولید پراکنده ۲، نیاز به توان بیشتری است اما بعد از چند صدم ثانیه به دلیل افزایش توان خروجی تولید پراکنده ۱، این مقدار تعدیل شده است. باید توجه داشت

مقادیر بدست آمده برای تنظیم تولید و ریزش بار مقادیر نرمالیزه شده بین ۰-۱ می باشند.

۶- نتیجه گیری

در سیستم توزیع سنتی، حداکثر انحراف فرکانس و ولتاژ که با تغییر در فرکانس و ولتاژ سیستم بدست می آید به عنوان شاخصی برای ارزیابی امنیت سیستم مورد توجه قرار می گیرد. اما در یک ریزشبهه مستقل که تنها دارای منابع با واسط الکترونیک قدرت است به دلیل استفاده از روش کنترل دروپ فرکانس و ولتاژ برای مدیریت توان در ریزشبهه، انحراف فرکانس و ولتاژ در محدوده مجاز تنظیم می شود. در نتیجه بر خلاف سیستم های سنتی، در ریزشبهه مستقل دارای منابع با واسط الکترونیک قدرت انحراف فرکانس و ولتاژ نمی تواند شاخصی برای ارزیابی امنیت ریزشبهه در نظر گرفته شود. اما شاخص جدید برای ارزیابی امنیت ریزشبهه توازن توان بین تولید و مصرف در ریزشبهه است. اگر این توازن وجود نداشته باشد ریزشبهه غیر ایمن خواهد بود. تشخیص سریع غیر ایمن بودن ریزشبهه موضوع مهم دیگری است که باید مورد توجه قرار گیرد و همچنین انجام اقدامات فوری کنترلی نیز دارای اهمیت بسیاری است. در این مقاله برای ارزیابی امنیت ریزشبهه ولتاژ متوسط شبکه عصبی - فازی تطبیقی پیشنهاد شده است. همچنین برای انجام اقدامات فوری نیز به منظور رسیدن سریع تر به حالت ایمن ریزشبهه، پیش بینی اعمال کنترلی توسط شبکه های عصبی - فازی تطبیقی دیگر پیشنهاد شده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده سرعت و دقت بالای شبکه عصبی - فازی تطبیقی برای ارزیابی امنیت ریزشبهه و پیشنهاد اعمال کنترلی پیشگیرانه در صورت غیر ایمن بودن ریزشبهه برای اختلالات توان و بار از پیش تعیین شده است.

مراجع

- [۱] چاودوری، اس، چاودوری، اس. پی. و کراسلی، پی.، ریزشبهه ها و شبکه های توزیع فعال، ترجمه، جورابیان، محمود، قره پتیان، گئورگ و قاسمی، حسین، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، سال ۱۳۹۲.
- [۲] اس. وی. کارتالوپولس، منطق فازی و شبکه های عصبی، ترجمه، جورابیان، محمود، هوشمند، رحمت الله، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ دوم سال ۱۳۸۲.
- [۳] پارسی، مهتاب، مدیریت توان در ریزشبهه مستقل با واسط الکترونیک قدرت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، تابستان ۱۳۹۲.
- [۴] جورابیان، محمود، پارسی، مهتاب، مدیریت توان در ریزشبهه، کارگاه آموزشی دومین کنفرانس شبکه های الکتریکی هوشمند، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، خرداد ۱۳۹۱.
- [۵] واحدی، حسان، نوروزیان، رضا، جلیلودن، ابوالفضل و قره پتیان، گئورگ "ارائه روشی نوین برای بهره برداری و تشخیص حالت جزیره ای

- [22] Moreira, C. L., Lopes, J. A. P., "Microgrids Dynamic Security Assessment", Clean Electrical Power (ICCEP'07), pp. 26-32, 2007.
- [23] Jasni, J., Ab Kadir, M. Z. A., "Static Power System Security Assessment Via Artificial Neural Network", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol. 31, No. 2, pp. 119-128, 2011.
- [24] Roger Jang, J. S., "ANFIS: Adaptive-Network Based Fuzzy Inference System", IEEE Trans., Systems, Vol. 23, No. 3, pp. 665-685, 1993.
- [25] IIIindala, M. S., Piagi, P., Zhang, H., Venkataramanan, G., Lasseter, R. H., "Hardware Development of a Laboratory- Scale Microgrid Phase2: Operation and Control of a Two-Inverter Microgrid", Subcontractor Report, National Renewable Energy Laboratory, 2004.

زیر نویس ها

¹MicroGrid (MG)

²Distributed Generation (DG)

³Distributed Storage (DS)

⁴Slack

⁵Load Shedding

⁶Plug and Play

⁷Droop

⁸Artificial Neural Network (ANN)

⁹Fuzzy

تولیدات پراکنده مبتنی بر اینورتر"، مجله انجمن برق و الکترونیک ایران، سال هشتم، شماره دوم، ۱۳۹۰.

[۶] حسامی نقشبندی، علی، حبیبی، فرشید و بیورانی، حسن، "طراحی

یک کنترل کننده مقاوم برای پایداری ولتاژ یک ریزشیکه در

حالات مختلف کاری"، مجله انجمن برق و الکترونیک ایران، سال

دهم، شماره اول، ۱۳۹۲.

- [7] Lasseter, R. H., "Smart Distribution: Coupled Microgrid", Proceeding of IEEE, Vol. 99, No. 6, pp. 1074-1082, 2011.
- [8] Lasseter, R. H., Paigi, P., "Microgrid a conceptual solution", Power Electronics Specialiasts Conference (PESC'04), Vol. 6, pp. 4285-4290, 2004.
- [9] Farhangi, H., "The path of the Smart grid", IEEE PES magazine, Vol. 8, No.1, pp. 19-28, 2010.
- [10] Lasseter, R. H., "Microgrids", Power Engineering Socitey Winter Meeting, Vol. 1, pp. 305-308, 2002.
- [11] Katiraei, F., Iravani, R., Hatziargyriou, N. & Dimeas, A., "Microgrids Management", IEEE Power & Energy Magazine, Vol. 6, No. 3, pp. 54-65, 2008.
- [12] Peng, F. Z., Wei Li, Y., Tolbert, L. M., "Control and Protection of Power Electronics Interfaced Distributed Generation Systems in a Customer- Driven Microgrid", Power & Energy Society General Meeting (PES), pp. 26-30, 2009.
- [13] Miao, Z., Domijan, A., Fan, L., "Investigation of Microgrids with Both Inverter Interfaced and Direct AC Connected Distributed Energy Resource", IEEE Tran., Power Delivery, Vol. 26, No. 3, pp. 1634-2642, 2011.
- [14] Aktarujjaman, M., Haque, M. E., Muttaqi, K. M., Negnevitsky M., Ledwich, G. F., "Control Stabilisation of Multiple Distributed Generation", In Proceeding Australasian Universities Power Engineering Conference(AUPEC), Perth, Western Australia, pp. 636-640, 2007.
- [15] Piagi, P., Lasseter, R. H., "Autonomous control of Microgrids", IEEE PES Meeting, Montreal, 2006.
- [16] Gazanfari, A., Hamzeh, M., Mokhtari, H. & Karimi, H., "Active Power Management of Multi-Hybrid Fuel Cell/Supercapacitor Power Conversion System in a Medium Voltage Microgrid", IEEE Trans., Smart Grid, Vol. 3, No. 4, pp. 1903-1910, 2012.
- [17] Chandorkar, M. C., Divan, M. D. and Adapa R., "Control of paralle connected inverters in standalone ac supply systems ", IEEE Trans., Ind. Appl., Vol. 29, No. 1, pp. 136-143, 1993.
- [18] Katiraei, F., Iravani, M. R., "Power Management Strategies for a Microgrid with Multiple Distributed Generation Units", IEEE Trans., Power Systems, Vol. 21, No. 4, pp. 1821-1831, 2006.
- [19] Lopes, J. A. P., Moreira, C. L., Madureira, A. G., "Defining control strategies for Microgrids Islanded operation", IEEE Trans., Power Systems, Vol. 21, No. 2, pp. 916-924, 2006.
- [20] Hamzeh, M., Karimi, H., Mokhtari, H., "A New control Strategy for a Multi-bus MV Microgrid Under Unbalanced Conditions", IEEE Trans., Power Systems., Vol. 27, No. 4, pp. 2225-2232, 2012.
- [21] Hamzeh, M., Mokhtari, H. & Karimi, H., "A decentralized self adjusting control strategy for reactive power management in an islanded multi-bus MV microgrid", Electrical and Computer Engineer, Canadian Journal, Vol. 36, No. 1, pp. 18-25, 2013.