

تقسیم بهینه توان اکتیو و راکتیو بین چند منبع تولید پراکنده در یک شبکه مستقل با شبکه عصبی مصنوعی

علی اصغر قدیمی^۱، حسن رستگار^۲، فرزاد رضوی^۳

^۱استادیار، دانشگاه اراک، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی برق، a-ghadimi@araku.ac.ir

^۲دانشیار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی برق، rastegar@aut.ac.ir

^۳استادیار، دانشگاه تفرش، دانشکده مهندسی برق، razavi.farzad@taut.ac.ir

(تاریخ دریافت مقاله ۱۳۸۹/۱۲/۲۵، تاریخ پذیرش مقاله ۱۳۹۰/۲/۱۱)

چکیده - در این مقاله به تقسیم بهینه توان اکتیو و راکتیو بین منابع تولید پراکنده تغذیه کننده یک شبکه مستقل با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخته شده است. منابع تولید پراکنده تغذیه کننده شبکه مستقل توسط اینورتر به شبکه متصل شده و یک سیستم مدیریت هوشمند و on-line با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، مقادیر بهینه میزان تولید واحدها را ارائه می دهد. کنترل کننده محلی موجود در کنار هر سیستم تحقق میزان توان تولیدی ارائه شده به آن را تضمین می کند. شبکه عصبی با داده هایی که از حل مسئله پخش بار بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک بدست آمده بگونه ای آموزش داده شده که میزان توانهای تولیدی واحدها را به منظور کمینه سازی تلفات سیستم و با در نظر گرفتن قیود ولتاژ شین ها و مقادیر نامی واحدها تعیین نماید. نتایج شبیه سازی بر روی یک سیستم توزیع نمونه نشان می دهد که روش ارائه شده قادر به برآورده نمودن نیازهای سیستم و مقادیر نامی واحدهای تولید پراکنده در حالت های مختلف کارکرد بوده و کنترل کننده ارائه شده سیستم را بصورت on-line در حالت بهینه مدیریت و پیوستگی تغذیه بارها را تضمین می نماید.

کلمات کلیدی: تولید پراکنده (DG)، MicroGrid، کنترل، تخمین حالت، الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی مصنوعی، بهینه سازی

Optimal Active and Reactive Power Sharing between several Distributed Generation Units in a Stand-Alone MicroGrid Using Artificial Neural Network

Ali Asghar Ghadimi, Farzad Razavi, Hassan Rastegar

Abstract: This paper is concerned with the generation control in small stand-alone MicroGrids consisting of inverter interfaced Distributed Generation (DG) units. An intelligent and on-line Microgrid Management System (MGMS) using Artificial Neural Network (ANN) controller is used in this study and it determines the amount of power produced from generation units in a stand-alone MicroGrid. The ANN trained with a data generated from a Genetic Algorithm (GA) solved optimal power flow problem, which defines generation unit's power in order to have a minimum power loss in the system, considering normal buses voltage and rating of generation units. Simulation results in a typical distribution system consisting two DG units show that the proposed method can meet the requirements of the system and DG units rating in stand-alone operations. In this way the system is managed in an on-line, optimal, and reliable situation that guarantee the continuity of power to loads in stand-alone mode of a MicroGrid.

Keywords: MicroGrid, State Estimation, Genetic Algorithm, Artificial Neural Network, Load Sharing, Distributed Generation

۱- مقدمه

تمرکز نموده اند و کنترل توان حقیقی چندین منبع تولید پراکنده مد نظر قرار نگرفته است.

به منظور افزایش سطح نفوذ منابع تولید پراکنده، ساده نمودن طراحی و کارکرد انعطاف پذیر، سیستمهای متصل شده با تعداد زیادی واحد تولید پراکنده نیاز به سیستمهای کنترل on-line و هوشمند دارند. این وسایل باید رفتار سیستم را پس از هر گونه تغییر یا اغتشاش زیر نظر داشته و بر اساس آن، سیگنالهای کنترلی بهینه و مناسب و یا عملیات پیشگیرانه لازم را (شبه کارکرد سیستم AGC در شبکه های قدرت کنونی) ارائه دهند. بدین منظور در این مقاله ابتدا با استفاده از الگوریتم ژنتیک با توجه به تغییرات و سطوح مختلف بار در شین های سیستم، سیگنال های کنترلی مناسب و بهینه به صورت off-line بدست آمده است. با توجه به اینکه بهینه سازی پروسه ای زمان بر می باشد، لذا یک شبکه عصبی مصنوعی^۳ (ANN) بگونه ای طراحی شده است تا عملکرد بهینه سیستم را به صورت on-line تضمین نماید شبکه عصبی با اطلاعات بدست آمده از بهینه سازی توسط الگوریتم ژنتیک آموزش داده شده و سرانجام شبکه عصبی مصنوعی سیستم را در حالت بهینه، دقیق و به صورت on-line مدیریت خواهد کرد.

بر اساس اهداف اشاره شده، در بخش ۲ سیستم مدیریت MicroGrid معرفی و همه اجزای آن تشریح شده است. در بخش ۳ نحوه بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک شرح داده خواهد شد. بخش ۴ طراحی یک شبکه عصبی جهت تعیین مقادیر تولید توان اکتیو و راکتیو هر عنصر DG به صورت on-line انجام می شود. نتایج شبیه سازی بر روی یک MicroGrid نمونه در بخش ۵ ارائه شده است. سرانجام بخش ۶ نتایج مقاله را ارائه می دهد.

۲- تشریح سیستم مدیریت MicroGrid و اجزای آن

مدیریت فعال^۴ نوعی از کنترل مرکزی برای شبکه های توزیع است و بعنوان روشی برای افزایش سطح نفوذ منابع تولید پراکنده مورد استفاده قرار گرفته است [۱۸]-[۲۱]. شبیه سیستم های قدرت سنتی این سیستم مدیریت می تواند برای کنترل ولتاژ و فرکانس و همچنین توان اکتیو و راکتیو یک سیستم شامل چندین MicroGrid بکار رود. شکل (۱) این ساختار را نشان می دهد [۲۱] که سه سطح کنترلی برای آن پیشنهاد می گردد:

- سیستم مدیریت توزیع^۵ (DMS) و اپراتور بازار^۶ (MO) که در سطح ولتاژ متوسط نصب می شوند.

امروزه مسائل زیست محیطی، بازار آزاد برق، نیاز به کاهش آلودگی CO₂، تغییرات آب و هوایی و همچنین قیمت و محدودیتهای سوختهای فسیلی باعث رغبت شدید در اتصال منابع کوچک نظیر سلولهای خورشیدی، پیلهای سوختی، میکروتوربین ها، ژنراتورهای بادی کوچک و تجهیزات ذخیره ساز انرژی در شبکه های فشار ضعیف شده است [۱]-[۳]. این شیوه جدید تولید انرژی الکتریکی باعث گسترش شبکه های کوچک شامل منابع تولید پراکنده^۱ و سایر تجهیزات تحت عنوان MicroGrid شده که پیش بینی می شود نقش بسیار مهمی در سیستمهای قدرت آینده داشته باشد [۴] و [۵].

مسئله اصلی در یک MicroGrid مستقل که در اثر قطع اتفاقی یا برنامه ریزی شده شبکه ایجاد می گردد، هماهنگی منابع تولید موجود برای تقسیم توانهای اکتیو و راکتیو خروجی آنها و کنترل ولتاژ و فرکانس است.

کنترل واحدهای تولید پراکنده در حالت مستقل به طرق مختلفی قابل انجام است. مرجع [۶]، یک کنترل کننده مود لغزشی^۲ برای اینورترهای سه فاز چهار سیمه ارائه نموده است. مرجع [۷] با استفاده از یک تکنیک PWM جدید روشی برای تولید ولتاژ سینوسی با وجود بارهای غیر خطی در سیستم ارائه نموده است. مرجع [۸] یک استراتژی کنترل برای هر دو حالت متصل به شبکه و جدا از شبکه ارائه نموده است که دارای خاصیت تشخیص جزیره ای شدن داخلی می باشد. همچنین مرجع [۹] یک استراتژی کنترل جدید برای کنترل یک واحد تولید پراکنده متصل شده با اینورتر ارائه داده است. کلیه این مقالات بر روی کنترل اینورترها در حالت مستقل و تنها یک اینورتر و تعدادی بار تمرکز نموده اند.

در برخی دیگر از مقالات [۱۰]-[۱۴]، مفهوم دروپ توان اکتیو-فرکانس و توان راکتیو-ولتاژ شبیه سیستمهای قدرت کنونی برای کنترل توان منابع تولید متصل شده توسط اینورتر مورد استفاده قرار گرفته است. مزیت این روش در استفاده از متغیرهای محلی برای کنترل واحدهای تولیدی می باشد. اما با توجه به تغییر فرکانس بعد از هر گونه اغتشاش، یک حلقه کنترل ثانویه برای کنترل دقیق و پایدار فرکانس لازم است. بعلاوه تقسیم بار بین واحدهای تولید به منظور کارکرد بهینه در شبکه و برآورده کردن همه قیود سیستم با این روش امکان پذیر نمی باشد. سیستمی با یک اینورتر منبع ولتاژ بعنوان واحد اصلی و مابقی بعنوان واحد کمکی در [۱۵] ارائه شده است. تحقیقات حاضر نظیر [۱۶] و [۱۷] از کنترل مرکزی برای کنترل بهینه تپ چنجرها یا جبران سازهای استاتیکی توان راکتیو برای تنظیم ولتاژ در سیستم توزیع استفاده نموده اند و تنها بر روی حالت متصل به شبکه و کنترل ولتاژ

³ Artificial Neural Network

⁴ Active Management

⁵ Distribution Management System

⁶ Market Operator

¹ Distributed Generation

² Sliding Mode

می گیرد تا مقدار توان تولیدی واحدهای تولید پراکنده و فرمانهای کنترلی برای سایر تجهیزات قابل کنترل را محاسبه نماید. هدف نهایی این مقاله ارائه استراتژی کنترلی برای MicroGrid جدا از شبکه^۳ به منظور کارکرد نرمال و بهینه سیستم است. بنابراین هر یک از تجهیزات سیستم باید کنترل کننده ای داشته و هماهنگی بین همه اجزا و مدیریت سیستم با MGMS انجام می شود. زیر بخشهای زیرین بر روی تشریح و مدل سازی اجزای مختلف MGMS در حالت کارکرد جزیره ای می پردازد.

۱-۲- واحد تخمین حالت^۴

امروزه با توجه به توسعه اتوماسیون در شبکه های توزیع، سیستم های SCADA^۵ در بسیاری از شبکه های توزیع نصب شده اند که می توانند دامنه ولتاژ، توان اکتیو، توان راکتیو و سایر مقادیر در یک خط یا یک شین از شبکه را اندازه گیری نموده و به مرکز کنترل انتقال دهند [۲۵] و [۲۶]. در سیستمهای مدرن توزیع، تخمین حالت نقش حساسی در تخمین حالت زمان واقعی سیستم (که نمی تواند از اندازه گیریهای محدود و گاهی کم اطمینان در سیستم توزیع بدست آیند) دارد. تخمین حالت سیستم توزیع می تواند تلفات توان، ولتاژ شین ها، مقدار تولید، توان بارها، توان خطوط توزیع و غیره را محاسبه نماید [۲۷].

بخاطر محدود بودن تعداد اندازه گیریهای واقعی در سیستم توزیع با تعداد بسیار زیاد گره ها، تخمین حالت در سیستم توزیع مشکلتر است. بنابراین اندازه گیریهای مجازی برای تخمین حالت در سیستم توزیع مورد نیاز می باشد که می تواند تخمین و پیش بینی بار در نقاط مختلف با استفاده از اطلاعات گذشته و روشهای مخصوص باشد. مدل سازی بار می تواند تخمین پروفیل بار مشتریان را بصورت زمان واقعی انجام دهد و بعنوان اندازه گیری مجازی در تخمین حالت مورد استفاده قرار گیرد [۲۶] و [۲۷]. در این مقاله از الگوریتم معمول بکار گرفته شده در سیستم های قدرت سنتی، بر اساس فرمولاسیون حداقل مربعات وزن دار شده [۲۶] و [۲۷]، مطابق رابطه (۱) استفاده شده است.

$$\text{Min } J(x) = \sum_{i=1}^M \frac{[z_i - h_i(x)]^2}{\sigma_i^2} \quad (1)$$

که:

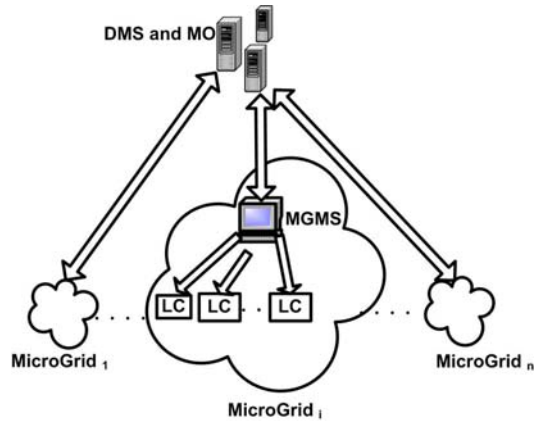
x : بردار متغیرهای حالت (دامنه و فاز ولتاژ شین ها)

M : تعداد اندازه گیری های واقعی و اندازه گیری های مجازی

z_i : مقدار اندازه گیری شده i ام

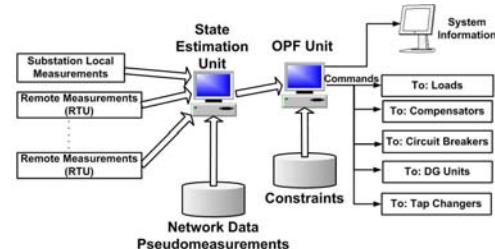
h_i : عبارت اندازه گیری ها بصورت تابعی از متغیرهای حالت

- سیستم مدیریت MicroGrid^۱ (MGMS) که در هر یک از MicroGrid ها وجود دارد.
- کنترل محلی^۲ (LC) که در برخی بخشهای کنترل پذیر سیستم توزیع نصب می شوند.



شکل (۱): مدیریت فعال یک سیستم توزیع شامل چند MicroGrid

در این ساختار وسایل مخابراتی ارتباطی قابل اطمینان را بین همه سطوح کنترلی فراهم می نماید. با پیشرفتهای اخیر در زمینه فناوری مخابرات، استفاده از این ساختار کاربردی است و اتصال آنها به اندازه کافی قابل اطمینان است. همچنین پروژه های مختلفی در سراسر جهان وجود دارد که مسائل فنی و عملی بکارگیری مدیریت فعال در شبکه های توزیع را بررسی می کنند و این سیستم توسط شرکت های مختلف گسترش یافته و در برخی کشورهای اروپایی مثل آلمان و اسپانیا بصورت آزمایشی بکار گرفته شده است [۲۱]-[۲۴]. به نظر می رسد در آینده ای نزدیک این سیستم در همه شبکه های توزیع جا باز خواهد نمود. شکل (۲) یک ساختار ممکن برای MGMS را نشان می دهد [۲۱].



شکل (۲): ساختار سیستم مدیریت MicroGrid (MGMS)

در طراحی MicroGrid باید توجه ویژه ای به سیستم مدیریت آن (MGMS) شود. این سیستم اطلاعات نیازهای حرارتی و الکتریکی محلی، نیازهای کیفیت توان، قیمت برق و سوخت و غیره را بکار

³ Stand-Alone

⁴ State Estimation

⁵ Supervisory Control And Data Acquisition

¹ MicroGrid Management System

² Local Control

این مقاله تنها بر روی واحدهای تولید پراکنده که از طریق اینورتر به MicroGrid متصل شده اند تمرکز کرده و سایر تجهیزات در نظر گرفته نمی شوند. همچنین نوع و دینامیک تولید کننده که می تواند پیل سوختی، توربین بادی، سلول خورشیدی و ... باشد نیز در عملکرد سیستم مؤثر می باشد که در این مقاله تولید کننده به همراه مبدل DC-DC و ذخیره ساز، بصورت یک منبع DC ثابت در نظر گرفته می شوند. لذا روشی که در این مقاله مورد بحث قرار می گیرد برای انواع منابع تولید پراکنده صادق خواهد بود. با این فرضیات کنترل اینورتر اتصال، عامل اصلی در اجرای فرمانها می باشد و در این قسمت مورد بررسی قرار می گیرد.

توان اکتیو و راکتیو تغذیه شده توسط یک منبع DG متصل شده با اینورتر می تواند بصورت مستقل با پارامترهای اینورتر کنترل شوند. روشهای کنترلی PQ (که در آن اینورتر مقدار مرجع توانهای اکتیو و راکتیو را به سیستم تزریق می کند) و VF (که در آن اینورتر وظیفه تولید ولتاژ با دامنه و فرکانس مورد نظر را به عهده دارد) طرحهای مشترکی هستند که برای کنترل واحدهای تولید پراکنده متصل شده با اینورتر مورد استفاده قرار می گیرند [۱۲]-[۱۵] و [۲۹]. در این مطالعه آنچنانکه در بخشهای بعد تشریح خواهد شد از هر دو نوع کنترل استفاده خواهد شد.

۳- سیستم مدیریت MicroGrid مبتنی بر شبکه عصبی (NN-MGMS)

کارکرد بهینه یک MicroGrid بصورت on-line بخاطر طبیعت متغیر بارها و واحدهای تولید پراکنده و همچنین زمان محاسباتی زیاد بسادگی قابل بکارگیری نمی باشند [۳۰]. مفهوم شبکه های عصبی بخاطر توانایی محاسباتی بالا، پیچیدگی کم، راحتی بکارگیری و زمان کم مورد نیاز برای پاسخ می تواند این محدودیتها را از بین ببرد. از سوی دیگر شبکه های عصبی نیاز به آموزش مناسب دارند و لازم است که داده های مناسب لازم برای آموزش آن ایجاد شوند. با وجود این پروسه آموزش شبکه عصبی یک روال off-line است که بصورت دوره ای برای تست عملکرد آن و یا وقتی که تغییرات اساسی در مشخصات MicroGrid (نظیر بارها یا منابع تولید و یا ساختار شبکه) اتفاق می افتد انجام می گیرد. در این مطالعه طراحی سیستم مدیریت MicroGrid با استفاده از شبکه عصبی بر اساس قدمهای زیرین انجام گردیده است.

۳-۱- استراتژی کنترل MicroGrid مستقل

در یک سیستم توزیع مستقل دو مسئله مهم وجود دارد. اولین مسئله وجود منابع تولید بدون اینرسی و با پاسخ دهی کند است که این مسئله باید با نصب ذخیره سازهای انرژی در سمت DC اینورترها مرتفع گردد تا تغذیه بار بصورت سریع انجام شود. مسئله دوم عدم وجود مرجع ولتاژ

واریانس توزیع اندازه گیری i

تابع h خطی نیست و لازم است که روش نیوتن تکرار شونده برای حل آن استفاده شود. بصورت واضح تر گرادینان تابع J محاسبه شده و با استفاده از روش نیوتون مساوی صفر قرار داده می شود. این عمل موجب ایجاد معادله تکرار شونده (۲) که باید حل شود می گردد:

$$\begin{aligned}x_{k+1} &= x_k + G(x_k)H^T(x_k)W[z - h(x_k)] \\ G(x_k) &= [H^T(x_k)WH(x_k)]^{-1} \\ H(x) &= \frac{\partial h(x)}{\partial x}\end{aligned}\quad (2)$$

واحد تخمین حالت از اندازه گیریهای واقعی سیستم، بعضی اندازه گیریهای مجازی و ساختار شبکه نظیر وضعیت کلیدها استفاده می کند و سپس حالت فعلی سیستم را محاسبه می کند. خروجی تخمینگر حالت مقادیر ولتاژ شین ها، مقادیر بارها، تلفات خطوط، مقادیر تولید و توان خطوط می باشد.

۲-۲- واحد پخش بار بهینه^۱

هدف این واحد بدست آوردن مقادیر مرجع توانی است که باید توسط هر یک از واحدهای تولید پراکنده به منظور کارکرد بهینه و با در نظر گرفتن همه قیود به شبکه تزریق گردد. برای رسیدن به این هدف رابطه ریاضی (۳) باید حل شود تا مقادیر بهینه بدست آیند:

$$\begin{aligned}\text{Minimize } & P_{Loss} = f(|v|, \delta) \\ \text{Subject to:} & \\ \text{Load Flow Equation (it mean } & \sum_{i=1}^{ngen} P_{Gi} = \sum_{i=1}^{nload} P_{Di} + Losses) \\ & (3) \\ V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} & \text{ for } i = 1 \text{ to no. of Buses} \\ P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} & \text{ for } i = 1 \text{ to no. of DG units} \\ Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{\max} & \text{ for } i = 1 \text{ to no. of DG units} \\ S_{Line-i} < S_{Max-i} & \text{ for } i = 1 \text{ to no. of Lines}\end{aligned}$$

در این رابطه تلفات توان، بصورت تابعی از دامنه و زاویه فاز ولتاژها می باشد که در ضمیمه آمده است.

۲-۳- کنترل اینورترهای اتصال منابع تولید پراکنده

همانگونه که ساختار شکل (۲) نشان می دهد، در یک MicroGrid عوامل کنترلی مختلفی نظیر مقادیر توان اکتیو و راکتیو واحدهای تولید پراکنده، موقعیت تپ ترانسفورماتورها، وضعیت کلیدهای قدرت، مقادیر جبران سازهای توان راکتیو و همچنین فرمانهایی برای بارزدایی وجود دارند که هر یک می توانند در عملکرد سیستم نقش داشته باشند.

¹ Optimal Power Flow (OPF)

حالت سیستم را تخمین زده و مقادیر زده و ولتاژها و همچنین ولتاژ شین ها و جریان خطوط را محاسبه می نماید.

قدم بعدی تقسیم توان بین سایر واحدها با در نظر گرفتن مقادیر نامی آنها و هدایت سیستم به کارکرد بهینه و نرمال است. این کار با حل معادله پخش بار بهینه (توسط مقادیر تخمین زده شده و رابطه (۳)) می باشد. این کار چون زمانبر است توسط واحد ANN که با استفاده از داده های بدست آمده توسط الگوریتم ژنتیک آموزش داده شده است بصورت زمان واقعی انجام می شود. واحد ANN به این تغییرات پاسخ داده و فرمانهای بهینه را صادر می نماید و ارتباط های مخابراتی این مقادیر جدید مرجع توان را به منابع تولید پراکنده انتقال می دهند.

واضح است که واحد اصلی باید قادر به تولید توان اضافی در مدت زمان تغییر بار تا رسیدن مقادیر مرجع جدید به سایر منابع تولید پراکنده باشد. از این رو ظرفیت وسیله ذخیره ساز باید با توجه به حداکثر تغییرات بار، تأخیر کنترل کننده ها و سرعت تغییر خروجی واحدهای تولید باشد. در مراجع [۳۱] و [۳۲] نحوه محاسبه میزان ذخیره ساز مناسب و نحوه طراحی آن شرح داده شده است.

۲-۳- تعیین ورودی ها و خروجی های شبکه

عصبی

ورودیهای شبکه عصبی باید بگونه ای انتخاب شوند که بتوانند رفتار سیستم را توصیف نمایند و تا حد امکان کم باشند تا از تعداد پارامتر زیاد شبکه عصبی جلوگیری شود. همچنین ورودیهای شبکه عصبی باید شامل پارامترهای قابل اندازه گیری و قابل کنترل سیستم باشند. در این مقاله ورودیهای شبکه عصبی توانهای اکتیو و راکتیو بارها که از واحد تخمین حالت می آیند و ساختار شبکه (یعنی اینکه بعضی از خطوط برای تعمیرات خارج از سرویس باشند) هستند.

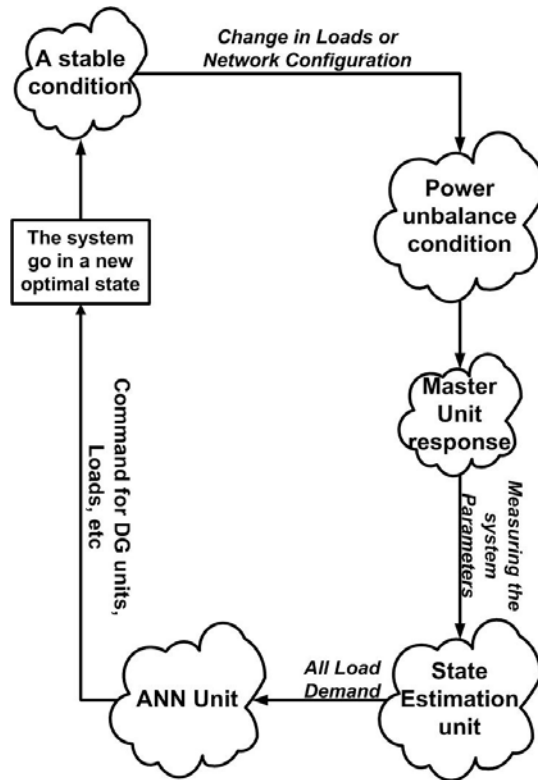
خروجی شبکه عصبی مقادیر مرجع توانهای اکتیو و راکتیو منابع تولید پراکنده غیر اصلی می باشد. زیرا همانگونه که در استراتژی کنترلی ذکر شد، واحد اصلی وظیفه جبران اختلافات توان بین مقدار تولید و مصرف که می تواند ناشی از خطاها و ... باشد را بعهده دارد و توسط کنترل کننده های محلی تنظیم لازمه انجام می پذیرد.

۳-۳- تولید داده های آموزش

تولید داده های آموزش ایجاد نمونه هایی از داده هاست که نشان دهنده رفتار سیستم در هنگام تغییر حالت آن است. در این مطالعه این کار بصورت زیر انجام می شود:

- در نظر گرفتن مقادیر متفاوت برای بارها. در این مطالعه برای کاهش تعداد داده ها، سه سطح بار (حداقل، متوسط و حداکثر) برای هر شین در نظر گرفته می شود و ترکیب بارها بصورت یکنواخت از بین این سطوح بار انتخاب می شود.
- در نظر گرفتن ساختارهای مختلف برای شبکه توزیع.
- حل روش بهینه سازی بر اساس الگوریتم ژنتیک برای بدست

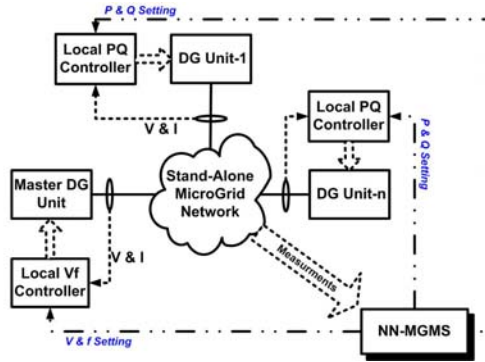
و فرکانس است که یک یا چند منبع تولید پراکنده باید بعنوان مرجع فرکانس و ولتاژ عمل نمایند. این چنین واحد بعنوان واحد اصلی^۱ در این مقاله نامیده می شود و با نصب مقدار مناسب ذخیره ساز در سمت DC اینورتر آن پاسخگویی سریع به تغییرات توان و ولتاژ پایدار را بعهده دارد. سایر منابع تولید کننده پراکنده خود را با این مرجع هماهنگ نموده و در حالت کنترل توان ثابت (مود PQ) کار می کنند و در تنظیم پایدار بار- تولید شرکت می نمایند. بر اساس استراتژی اشاره شده، روش ارائه شده برای کنترل تقسیم بار بین واحدهای تولید پراکنده در این مقاله مطابق فلوچارت شکل (۳) است.



شکل (۳): دیاگرام عملکرد سیستم مدیریت

در ابتدا فرض می شود که همه واحدها در یک سیستم مستقل زیر مقدار نامی خود کار می کنند تا اینکه بتوانند تغییرات توان را داشته باشند. بعد از هر گونه تغییر در سیستم، ابتدا واحد اصلی پاسخ خواهد داد و توان جذب یا تزریق می نماید تا اینکه نیاز بار بر طرف شود و در حالیکه مابقی واحدها به تغذیه همان مقادیر قبلی برنامه ریزی شده ادامه می دهند. در فاصله های زمانی ثابت، واحدهای اندازه گیری پارامترهای سیستم را اندازه گیری نموده و آنها را به MGMS می فرستند. واحد تخمین حالت با استفاده از این اندازه گیری ها و اندازه گیریهای مجازی

¹ Master Unit



شکل (۵): نمای کلی استراتژی کنترلی ارائه شده

۴- سیستم مورد مطالعه و شبیه سازی

استراتژی کنترل ارائه شده بر روی سیستم توزیع نمونه که در شکل (۶) نشان داده شده است آزمایش شده است. سیستم شامل چهار فیدر است که توسط یک ترانسفورماتور ۲۰/۰.۴ کیلو ولت از شبکه قدرت تغذیه می شود و اطلاعات شبکه در ضمیمه ۲ آمده است. باید توجه شود که بارها بصورت توان ثابت با مقادیر اولیه اشاره شده در ضمیمه مدل شده اند. قسمت مهم شبکه شامل ۹ شین، ۸ بار در دو فیدر شعاعی می باشد. وقتی شبکه سراسری وصل است، دو واحد تولید پراکنده (DG 1) و (DG 2) قسمتی از انرژی مورد نیاز را جهت کاهش برق مصرفی مشتریان تولید می نمایند. هنگامیکه خطا در شبکه رخ دهد یا اینکه سیستم از شبکه قدرت از طریق کلید اصلی (Main Switch) بصورت از پیش برنامه ریزی شده قطع شود، سیستم بصورت مستقل در می آید. در این مطالعه تنها بر روی حالت جزیره ای شبکه تمرکز کرده و گذر از حالت اتصال شبکه به جزیره ای در نظر گرفته نمی شود.

برای ساده سازی دینامیک واحدهای تولید پراکنده در نظر گرفته نشده و ولتاژ DC ثابت در همه اینورها در نظر گرفته می شود. همچنین DG 1 با ذخیره ساز مناسب واحد اصلی است و مانند یک ژنراتور سنکرون برای تولید مرجع ولتاژ و فرکانس مورد استفاده قرار می گیرد. واحد DG 2 با استفاده از PLL خود را با واحد اصلی همزمان نموده و در حالت کنترل توان ثابت (PQ) کار می کند و مقادیر مرجع توان آن از طریق فرمانهای سیستم مدیریت MicroGrid تغییر می نماید. داده های واحدهای تولید پراکنده نیز در ضمیمه آمده است.

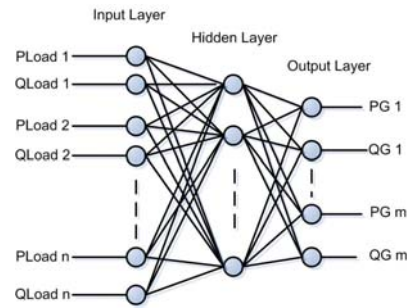
برای تخمین حالت، سه اندازه گیر ولتاژ در شینهای ۱، ۲ و ۶ و دو اندازه گیر توان اکتیو و راکتیو در شینهای شامل منابع تولید پراکنده (شین های ۱ و ۲) نصب شده اند. همچنین پیش بینی بارهای برخی شینها بعنوان داده های اندازه گیری مجازی برای تخمین حالت سیستم مورد استفاده قرار گرفته است.

آوردن مقادیر بهینه برای هر یک از منابع تولید پراکنده به منظور کمینه سازی تلفات توان و برآورده سازی قیود. بعد از این قدمها ورودی و خروجی سیستم کنترل مشخص شده و می تواند برای آموزش شبکه عصبی مورد استفاده قرار گیرند.

۳-۴ طرح شبکه عصبی

در این مطالعه شبکه عصبی feed-forward با یک لایه مخفی مورد استفاده قرار گرفته است و توجه زیادی به کاهش تعداد ورودیها شده است. لازم بذکر است که تعداد نرونها مخفی باید با دقت انتخاب شده تا اینکه قابلیت شبکه عصبی بالا باشد (قابلیت تولید پاسخهای مناسب برای ورودیهایی که آموزش دیده نمی شوند).

بر اساس ورودیها و خروجیهای شرح داده شده در بخش ۴-۲ ساختار شبکه عصبی مورد استفاده را می توان بصورت شکل (۴) نشان داد. لایه ورودی شامل توانهای اکتیو و راکتیو بارها و لایه خروجی توانهای تولیدی واحدهای تولید پراکنده به جز واحد اصلی می باشد.



شکل (۴): ساختار شبکه عصبی مورد استفاده

۳-۵ آموزش شبکه عصبی

جعبه ابزار شبکه عصبی نرم افزار MATLAB جهت ایجاد، آموزش و ارزیابی شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفته است. الگوریتم BP برای آموزش شبکه عصبی با استفاده از پارامترهای آموزش مناسب که با استفاده از محاسبات پخش بار بهینه بدست آمده اند مورد استفاده قرار گرفته است. بعد از مرحله آموزش، عملکرد شبکه عصبی با بقیه داده هایی که از حل معادلات با الگوریتم ژنتیک برای یک مجموعه جدید بارها بدست آمده، ارزیابی می شود.

۳-۶ بکارگیری شبکه عصبی در کنترل کننده

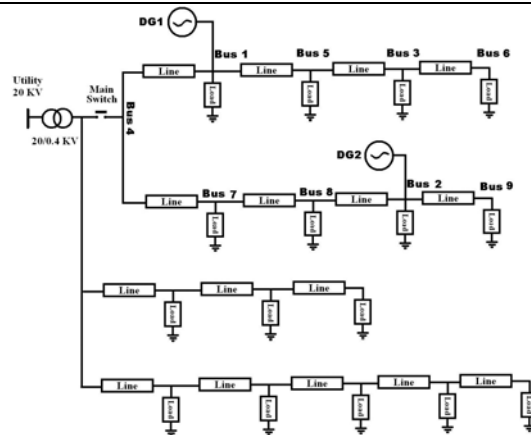
on-Line

همه قدمهای قبلی باید بصورت off-Line انجام گیرد. محصول نهایی این دستورالعمل باید در یک فضای on-line در سیستم مدیریت MicroGrid بکار گرفته شود. شکل زیرین نمای کلی سیستم MicroGrid مستقل به همراه استراتژی کنترلی را نمایش می دهد.

جدول ۱ تعدادی از این داده ها که توسط الگوریتم ژنتیک بدست آمده است را نشان می دهد.

سیس تعدادی از داده های بدست آمده جهت آموزش شبکه عصبی مورد استفاده قرار می گیرند. همانگونه که قبلاً بیان شد از آنجائیکه سیستم ۸ شین بار دارد، شبکه عصبی ۱۶ ورودی (توانهای اکتیو و راکتیو هر شین) و همچنین ۲ خروجی (توانهای اکتیو و راکتیو DG 2) دارد. ساختارهای متفاوت برای شبکه عصبی آزمایش شده تا بهترین عملکرد بدست آید. بهترین دقت از یک شبکه سه لایه FF با چهار نرون در لایه مخفی با تابع tan-sigmoid و ۲ نرون با تابع تبدیل خطی در لایه خروجی بدست آمده است.

جدول ۲ نتایج شبیه سازی شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک را برای برخی از حالت‌هایی که در آموزش مورد استفاده قرار نگرفته است نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می گردد نتایج بسیار نزدیک هم بوده و شبکه عصبی می تواند برای تعیین سیگنال کنترلی بصورت on-line مورد استفاده قرار گیرد.



شکل (۶): دیاگرام تک خطی سیستم مورد مطالعه

همانگونه که در بخش قبلی بیان شد، داده های آموزش با تغییر بارها بین سه سطح حداقل، متوسط و حداکثر بار در هر شین ایجاد شده و الگوریتم ژنتیک سطوح تولید مناسب برای واحد DG 2 را معین می کند. این سه سطح به اندازه ۶۰٪، ۱۰۰٪ و ۱۲۰٪ مقادیر داده شده در ضمیمه در نظر گرفته شده اند.

در این مسئله الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی مقادیر توان اکتیو و راکتیو واحدهای تولید پراکنده در سیستم انجام می شود و هدف این است که تلفات توان اکتیو (تابع هدف) حداقل شده و قیود سیستم نیز ارضاء شوند. لذا در اینجا هر کروموزوم بصورت شکل (۷) شامل توانهای اکتیو و راکتیو منابع DG انتخاب می شود [۲۸]:

P DG 1	Q DG 1	...	P DG m	Q DG m
--------	--------	-----	--------	--------

شکل (۷): ساختار کروموزومهای مورد استفاده

با توجه به اینکه روش کد گذاری ارائه شده دودویی بوده، هر یک از مقادیر توان با توجه به حداقل و حداکثر آنها نرمالیزه و بصورت رشته هایی از صفر و یک تبدیل می شوند. سپس بعد از اتمام بهینه سازی با توجه به مقدار نامی توان هر یک از منابع مقدار واقعی متغیرها بدست می آید.

در این مقاله عملگر انتخاب بر اساس روش چرخ رولت^۱ و بر اساس میزان برازش هر کروموزوم انجام می گردد. برازندگی هر کروموزوم معکوس تابع هدف آن می باشد که در رابطه (۳) مشخص شده است. از عملگر تقاطع دو نقطه ای^۲ با احتمال جهش^۳ برابر با ۰/۲٪ برای هر کروموزوم استفاده شده است. این عملگر دو نقطه ای جهت جلوگیری از انتخاب جوابهای محلی بهینه می باشد.

¹ Roulette Wheel

² Two cut-point crossover

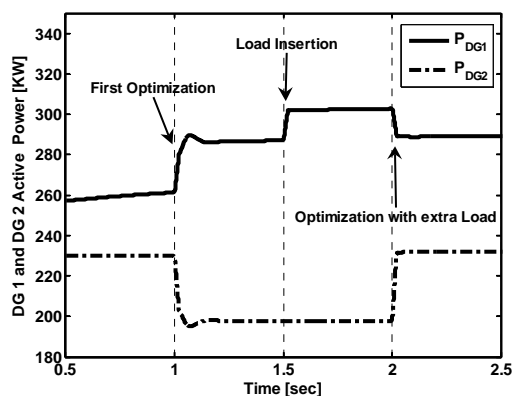
³ Mutation Probability

جدول ۱: تعدادی از داده های بدست آمده از الگوریتم ژنتیک

Set	Load Level for each Bus								PG1 (kW)	PG2 (kW)	QG1 (kVar)	QG2 (kVar)	PLoss (kW)
	1	2	3	5	6	7	8	9					
1	0.60	1.00	1.20	1.20	1.00	0.60	1.00	1.20	260.47	229.91	101.86	84.65	14.29
2	1.20	1.20	1.00	0.60	1.20	1.20	1.00	0.60	275.27	182.20	86.11	77.47	9.33
3	1.20	0.60	1.20	0.60	1.00	0.60	0.60	0.60	236.12	148.62	120.18	16.00	7.51
4	0.60	1.00	0.60	1.00	1.00	1.20	1.00	1.20	223.18	255.24	113.36	66.46	12.57
5	1.00	0.60	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	1.20	294.73	222.13	101.89	92.14	13.97
6	0.60	0.60	0.60	1.20	0.60	1.00	1.20	1.20	224.38	234.56	77.49	101.60	10.78
7	0.60	0.60	1.00	1.00	0.60	0.60	1.20	1.20	209.79	226.51	67.79	104.58	10.45
8	1.00	1.20	0.60	1.00	0.60	1.20	1.20	1.00	244.28	236.12	79.13	103.55	8.66
9	1.20	1.20	0.60	0.60	0.60	1.00	1.00	0.60	219.27	180.37	67.81	79.01	4.65
10	1.00	1.00	0.60	1.20	0.60	0.60	1.20	0.60	254.43	174.39	86.16	75.59	6.28

جدول ۲: مقایسه نتایج شبکه آموزش داده شده و الگوریتم ژنتیک برای برخی از داده ها

Set	Load Level for each Bus								PG2(kW)	PG2(kW)	QG2(kVar)	QG2(kVar)
	1	2	3	5	6	7	8	9	NN	GA	NN	GA
1	1.00	1.00	0.60	1.00	1.20	0.60	1.00	0.60	145.36	144.59	62.31	61.55
2	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.20	1.00	208.03	208.05	97.04	92.92
3	1.00	1.20	0.60	1.00	1.00	0.60	0.60	1.00	192.78	193.56	71.73	73.17
4	0.60	1.20	1.20	1.00	1.00	1.20	1.00	1.20	252.76	255.18	95.10	90.30
5	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.20	1.00	208.03	208.05	97.04	92.92



شکل (۸): توان اکتیو واحدهای DG 1 و DG 2

پروسه شبیه سازی در چهار حالت مختلف انجام شده و در زیر بخشهای زیرین شرح داده خواهند شد.

۴-۱- راه اندازی سیستم

ابتدا فرض می شود که سیستم با مقادیر مرجع پخش بار شروع به کار کند. مقادیر مرجع توان DG 2 در ۲۳۰ کیلووات و ۶۰ کیلووار تنظیم شده اند. همانگونه که از شکل (۸) و شکل (۹) دیده می شود در این حالت کنترل کننده ها خروجی DG 2 را در مقادیر مطلوب تنظیم نموده اند و همانطور که انتظار می رود مابقی توان توسط واحد اصلی - DG 1 - تأمین می گردد.

کل سیستم را به کار در حداقل تلفات توان و ولتاژ نرمال (بین ۰.۹۵ تا ۱.۰۵ پرینت) و مقدار نامی واحدهای تولید هدایت می کند.

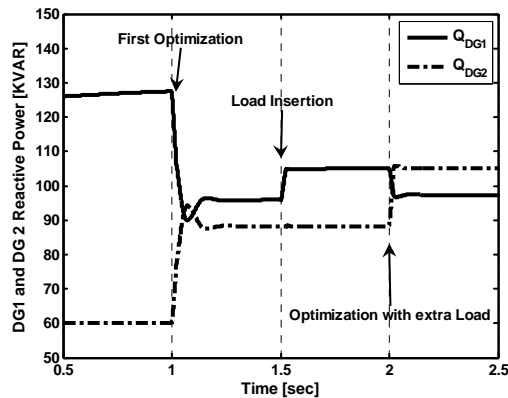
۳-۴- اضافه شدن بار

در سومین حالت شبیه سازی یک اغتشاش مثل اضافه شدن یک بار به سیستم اعمال می شود. در زمان ۱.۵ ثانیه یک بار ۴۰ کیلووات و ۲۰ کیلووار در شین ۹ اضافه می شود و همانگونه که در شکل (۸) و شکل (۹) نشان داده شده است توان اضافه شده توسط واحد اصلی DG 1 تأمین شده و واحد دیگر در مقادیر قبلی مرجع کار می کند. در این حالت همانگونه که شکل (۱۰) نشان می دهد ولتاژ بعضی شین ها از حداقل (۰.۹۵) تجاوز نموده و همچنین تلفات توان به ۰.۳۲ پرینت افزایش می یابد.

۴-۴- بهینه سازی سیستم با بار اضافی

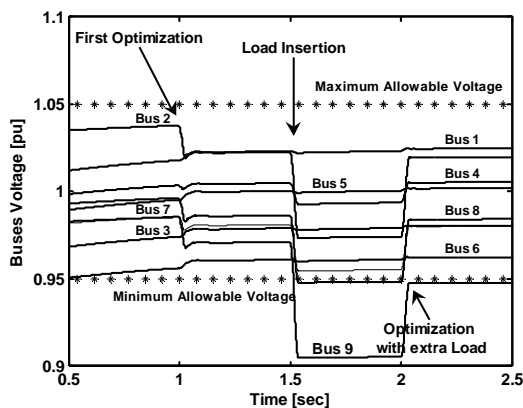
مجدداً در زمان $t=2$ ثانیه سیستم مدیریت MicroGrid پارامترهای سیستم را اندازه گیری کرده و حالت سیستم را تخمین می زند و لذا مقادیر توان مصرفی معلوم می شوند. واحد شبکه عصبی اطلاعات بدست آمده از واحد تخمین حالت را مورد استفاده قرار داده و مقادیر مرجع توان برای واحدهای تولید پراکنده تعیین می کند تا اینکه تلفات توان را کاهش دهد و همچنین سیستم را به داشتن ولتاژ نرمال هدایت نماید. نتایج کنترل کننده شبکه عصبی برای توان مرجع DG 2 در این حالت ۲۳۱ کیلووات و ۱۰۵ کیلووار است. بعد از انتقال این سیگنالها به DG 2، سیستم این توانها را تولید نموده و همانگونه که شکل (۱۰) نشان می دهد ولتاژ شین ها به مقدار نرمال برمی گردد و همچنین تلفات توان به ۰.۲۸ پرینت رسیده و واضح است که به اندازه ۱۰٪ کاهش یافته است.

همانگونه که از نتایج شبیه سازی پیداست، روش ارائه شده برای کنترل منابع تولید پراکنده مؤثر است و می تواند به نیازهای شبکه در هنگام جزیره ای شدن از شبکه سراسری پاسخ دهد و این طرح می تواند پیوستگی توان بارها را تضمین نماید. هر تغییر در سیستم با استفاده از اندازه گیری های واقعی، سابقه سیستم و واحد تخمین حالت معین می شود. بر اساس مقادیر تخمین زده شده توسط شبکه عصبی فرمانهای مناسب تولید شده و فرستادن این فرمانها به کنترل کننده های محلی، منابع تولید پراکنده را به حالت بهینه هدایت نموده و سیستم در حالت بهینه و نرمال کار خواهد کرد. لازم به ذکر است که اضافه کردن استراتژی بارزدایی (یعنی حذف بار اضافی در صورت کافی نبودن توان تولیدی منابع جهت تأمین بارها به ترتیب اولویت بارهای مهم و غیرمهم) و حفاظت (منظور حفاظت سیستم در برابر خطاها و چگونگی هماهنگی تجهیزات حفاظتی) به روش تقسیم بار ارائه شده می تواند باعث عملکرد کامل سیستم MicroGrid را در یک شبکه جزیره ای شود.



شکل (۹): توان راکتیو واحدهای DG 1 و DG 2

در این حالت مطابق شکل (۱۰) ولتاژها در مقادیر نرمال هستند و کل تلفات توان سیستم ۰.۲۵۶ پرینت است که حدود ۴٪ کل بار سیستم می باشد.



شکل (۱۰): ولتاژ شین های سیستم

۲-۴- بهینه سازی سیستم

در زمان $t=1$ ثانیه واحد تخمین حالا پارامترهای سیستم و مقادیر بار را محاسبه می کند. نتایج تخمین و مقادیر واقعی نشان دهنده دقت خوب واحد تخمین حالت است و مقدار بار و همچنین ولتاژ شین ها بعد از تخمین معلوم خواهند شد. واحد ANN در این حالت مقدار بهینه DG 2 را به اندازه ۱۹۷ کیلووات و ۸۸ کیلووار محاسبه نموده و به واحد می فرستد. از شکل (۸) و شکل (۹) واضح است که کنترل کننده محلی فرمانها را اجرا نموده و توان را در مقادیر دلخواه تنظیم می نماید. با این مقادیر بهینه، تلفات سیستم به ۰.۲۱۲۰ پرینت تغییر یافته که مشخص است که به اندازه ۲۴٪ کاهش یافته است و همچنین مطابق شکل (۱۰) ولتاژها در مقادیر نرمال باقی مانده اند.

همانگونه که در هنگام آموزش شبکه عصبی انتظار می رفت، مقادیر محاسبه شده و ارسال شده مرجع جدید برای واحدهای تولید پراکنده

۵- نتیجه گیری

این مقاله یک استراتژی مدیریت و کنترل برای کارکرد قابل اطمینان و بهینه یک MicroGrid در حالت مستقل ارائه نمود. طرح ارائه شده از تجهیزات مخابراتی برای ارسال اطلاعات به کنترل کننده مرکزی استفاده می کند. مقادیر بهینه تولید برای هر یک از واحدهای تولید پراکنده با استفاده از روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک برای چندین حالت بار و ساختار شبکه بدست آمده و شبکه عصبی بصورت off-line با این اطلاعات آموزش داده می شود. سرانجام شبکه عصبی در سیستم کنترل on-line برای تولید فرمانهای کنترلی سیستم بلافاصله بعد از هر تغییر مورد استفاده قرار می گیرد.

همانگونه که نتایج شبیه سازی روی یک MicroGrid نمونه در این مقاله نشان می دهد، وقتی که در قسمتی از شبکه توزیع شامل چندین منبع تولید پراکنده، شبکه قدرت وجود ندارد طرح ارائه شده می تواند سیستم را در این حالت کنترل نموده تا واحدهای تولید پراکنده موجود بارها را تأمین نموده و پیوستگی توان بارها را تضمین نماید.

۶- مراجع

- [7] Fang Gao, and M. Reza Irvani, "A Control Strategy for a Distributed Generation Unit in Grid-Connected and Autonomous Modes of Operation", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 23, NO. 2, APRIL 2008, Pages: 850-859
- [8] Houshang Karimi, Hassan Nikkhajoei, and Reza Irvani, "Control of an Electronically-Coupled Distributed Resource Unit Subsequent to an Islanding Event", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 23, NO. 1, JANUARY 2008, Pages: 493-501
- [9] Charles K. Sao, Peter W. Lehn, "Autonomous Load Sharing of Voltage Source Converters", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 20, NO. 2, APRIL 2005, Pages: 1009-1016
- [10] Yunwei Li, D. Mahinda Vilathgamuwa, and Poh Chiang Loh, "Design, Analysis, and Real-Time Testing of a Controller for Multibus Microgrid System", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 19, NO. 5, SEPTEMBER 2004, Pages: 1195-1204
- [11] J. A. Peças Lopes, C. L. Moreira, and A. G. Madureira "Defining Control Strategies for MicroGrids Islanded Operation", IEEE Transactions on Power Systems, May 2006, vol. 21, no. 2, Pages: 916-924
- [12] F. Katiraei, and M. R. Irvani, "Power Management Strategies for a Microgrid With Multiple Distributed Generation Units", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 21, NO. 4, NOVEMBER 2006, Pages: 1821-1831
- [13] F. Katiraei, M. R. Irvani, and P. W. Lehn, "Micro-Grid Autonomous Operation During and Subsequent to Islanding Process", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 20, NO. 1, JANUARY 2005, Pages: 248-257
- [14] A. Engler, "Control of parallel operating battery inverters", In proceeding of the Photovoltaic Hybrid Power Systems Conference, 2000, Aix-en-Provence
- [15] Nick Hiscock, Terence G. Hazel, and Jonathan Hiscock, "Voltage Regulation at Sites With Distributed Generation", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 44, NO. 2, MARCH/APRIL 2008, Pages: 445-454
- [17] Ali Asghar Ghadimi, Hassan Rastegar, "Control of a Stand-Alone MicroGrid with Active Management Scheme," Journal of
- [1] A.A. Ghadimi, A. M. Daryani, H. Rastegar, "Detailed Modeling and analysis of a full bridge PWM DC-DC converter", In proceedings of the Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC06), December 2006, Melbourne, Australia
- [2] R. H. Lasseter and P. Piagi, "Microgrid: A conceptual solution", In proceeding of the Power Electronics Specialists Conference, Aachen, Germany, June 2004, vol. 6, pages: 4285-4290
- [3] M. N. Marwali, J. W. Jung, and A. Keyhani, "Control of Distributed Generation Systems, Part II: Load Sharing Control", IEEE Transaction on Power Electronics, VOL. 19, NO. 6, NOVEMBER 2004, Pages: 1551-1561
- [4] P. Piagi, R. Lasseter, "Autonomous control of Microgrids", in proceeding of the IEEE PES General Meeting, 18-22 June 2006
- [5] Min Dai, Mohammad Nanda Marwali, Jin-Woo Jung, and Ali Keyhani, "A Three-Phase Four-Wire Inverter Control Technique for a Single Distributed Generation Unit in Island Mode", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 23, NO. 1, JANUARY 2008, Pages: 322-331
- [6] Hiren Patel and Vivek Agarwal, "Control of a Stand-Alone Inverter-Based Distributed Generation Source for Voltage Regulation and Harmonic Compensation", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 23, NO. 2, APRIL 2008, Pages: 1113-

- Islanding Operation”, in proceeding of the IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, 2004.
- [29] G. Celli, F. Pilo, G. Pisano, G. G. Soma, “Optimal Participation of a Microgrid to the Energy Market with an Intelligent EMS”, in proceeding of the IPEC 2005 Conference, Singapore, 2005.
- [30] J. W. Jung, and A. Keyhani, “Modeling and Control of Fuel Cell Based Distributed Generation Systems in a standalone Ac Power System”, Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 2, No. 1, 2005, Pages: 10-23
- [31] M. Uzunoglu and M. S. Alam, “Dynamic Modeling, Design, and Simulation of a Combined PEM Fuel Cell and Ultracapacitor System for Stand-Alone Residential Applications”, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 21, NO. 3, SEPTEMBER 2006, Pages: 767-775
- Electrical Engineering, Vol. 8, No. 3, 2008, Pages: 53–60
- [18] S. N. Liew and G. Strbac, “Maximizing penetration of wind generation in existing distribution networks,” Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm., Distrib., vol. 149, No. 3, May 2002, Pages: 256–262
- [19] A. Shafiu, T. Bopp, I. Chilvers, and G. Strbac, “Active management and protection of distribution networks with distributed generation”, in proceeding of the IEEE PES General Meeting, Jun. 6–10, 2004, Vol. 1, Pages:1098–1103
- [20] Aris L. Dimeas, Nikos D. Hatziaargyriou, “Operation of a Multiagent System for Microgrid Control”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 20, NO. 3, AUGUST 2005, Pages:1447-1455
- [21] B. Buchholz, U. Schluecking, “Energy Management in Distribution Grids: European Cases”, in proceeding of the IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 2006
- [22] P. Bresesti, A. Cerretti, “SDNO: Smart Distribution Network Operation Project”, in proceeding of the IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 2007
- [23] K. Okuyama, T. Kato, Y. Suzuoki, T. Funabashi, K. Wu, Y. Yokomizu, T. Okamoto, “Improvement of reliability of power distribution system by information exchange between distributed generators-sharing of all DGs information”, in proceeding of the IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2001
- [24] A. Shafiu, N. Jenkins, and G. Strbac, “Measurement location for state estimation of distribution networks with generation”, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 152, No. 2, March 2005, Pages: 240-246
- [25] Haibin Wang, Noel. N. Schulz, “A Load Modeling Algorithm for Distribution System State Estimation”, IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001
- [26] Inigo Cobelo, Ahmed Shafiu, Nick Jenkins, Goran Strbac, “State estimation of networks with distributed generation”, EUROPEAN TRANSACTIONS ON ELECTRICAL POWER, Vol 17, 2007, Pages: 21–36
- [27] R. L. Haupt and S. E. Haupt, “Practical Genetic Algorithms”, New York, Wiley, 2004
- [28] A. Bertani, C. Bossi, F. Fornari, S. Massucco, S. Spelta, F. Tivegna, “A Microturbine Generation System for Grid Connected and

ضمیمه

ض ۱: تلفات سیستم توزیع

در یک سیستم n باسه تلفات توان می تواند بصورت رابطه (۱) تعریف شود:

$$P_L + jQ_L = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n V_i I_i^* =$$

$$[V_1 \quad V_2 \quad \dots \quad V_n] \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix}^* = V^T I^* \quad (۱)$$

که V و I بردار ولتاژ و جریان شینها می باشند و رابطه ساده ای با ماتریس سیستم دارند و جایگزینی آن در رابطه قبلی نتیجه می دهد:

$$V = Z_{Bus} I$$

$$\text{Therefore: } P_L + jQ_L = (Z_{Bus} I)^T I^* = I^T Z_{Bus} I^* \quad (۲)$$

با نوشتن جریان شین ها و Z_{Bus} بصورت قسمتهای حقیقی و موهومی:

$$Z_{Bus} = R + jX = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix} + j \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nn} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

$$I = I_a + jI_r = \begin{bmatrix} I_{a1} \\ \vdots \\ I_{an} \end{bmatrix} + j \begin{bmatrix} I_{r1} \\ \vdots \\ I_{rn} \end{bmatrix}$$

ض ۲: پارامترهای سیستم نمونه

همه خطها شبیه هم هستند با اطلاعات زیر:

Cable Resistance: $R = 0.164 \text{ ohms/km}$

Cable Inductance: $L = 0.26 \text{ mH/km}$

اطلاعات خطوط توزیع

From Bus	To Bus	Length (m)
4	1	500
1	5	100
5	3	200
3	6	250
4	7	650
7	8	500
8	2	400
2	9	400

اطلاعات بارها

Bus No.	P (kW)	Q (kVar)
1	80	25
2	36	12
3	25	12
5	90	33
6	60	12
7	36	12
8	56	32
9	96	42

اطلاعات سیستم های تولید پراکنده

DG	Nominal Power (kVA)	Control Mode	P-Gain	I-Gain
DG 1	400	Vf	1.1	3.23
DG 2	280	PQ	6	0.12

با جایگزینی قسمت های حقیقی و موهومی جریانها و ماتریس Zbus در رابطه (۱) نتیجه می دهد:

$$P_L + jQ_L = (I_a + jI_r)^T (R + jX)(I_a - jI_r) \quad (4)$$

so:

$$P_L = I_a^T R I_a + I_r^T R I_r = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n r_{jk} (I_a I_k + I_r I_k)$$

به منظور داشتن رابطه تلفات توان بصورت تابعی از توان تزریقی شین ها می توان از رابطه بین توان و جریان بصورت زیر استفاده نمود:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* = |V_i| (\cos \delta_i + j \sin \delta_i) (I_a - jI_r) \quad (5)$$

که δ_i زاویه ولتاژ شین i ام نسبت به شین مرجع است. قسمت حقیقی و موهومی جریان از این رابطه قابل بدست آوردن است.

$$I_a = \frac{1}{|V_i|} (P_i \cos \delta_i + Q_i \sin \delta_i) \quad (6)$$

$$I_r = \frac{1}{|V_i|} (P_i \sin \delta_i - Q_i \cos \delta_i)$$

بنابراین با جایگزینی این روابط در رابطه (۵) تلفات توان از رابطه (۷) بدست می آید:

$$P_L = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n [\alpha_{jk} (P_j P_k + Q_j Q_k) + \beta_{jk} (Q_j P_k - P_j Q_k)]$$

where:

$$\alpha_{jk} = \frac{r_{jk}}{|V_j| |V_k|} \cos(\delta_j - \delta_k) \quad (7)$$

$$\beta_{jk} = \frac{r_{jk}}{|V_j| |V_k|} \sin(\delta_j - \delta_k)$$