

**University of Kurdistan**

Dept. of Electrical and Computer Engineering

*Smart/Micro Grid Research Center*

[smgrc.uok.ac.ir](http://smgrc.uok.ac.ir)

## **An ANN based intelligent frequency design for an islanded microgrid (in Persian)**

Habibi F, Bevrani H

Published (to be published) in: 2nd Iranian Conf. on Smart Grid-ICSG 2012

(Expected) publication date: 2012

### **Citation format for published version:**

Habibi F, Bevrani H (2012) An ANN based intelligent frequency design for an islanded microgrid (in Persian). 2nd Iranian Conf. on Smart Grid-ICSG 2012, Tehran, Iran.

### **Copyright policies:**

- Download and print one copy of this material for the purpose of private study or research is permitted.
- Permission to further distributing the material for advertising or promotional purposes or use it for any profit-making activity or commercial gain, must be obtained from the main publisher.
- If you believe that this document breaches copyright please contact us at [smgrc@uok.ac.ir](mailto:smgrc@uok.ac.ir) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



2<sup>nd</sup> Iranian Conference on Smart Grid, May 23&24, 2012, Tehran, Iran (ICSG 2012)

دومین کنفرانس شبکه های الکتریکی هوشمند، ۳ و ۴ خرداد ۱۳۹۱، تهران، ایران

## طراحی یک کنترل کننده هوشمند فرکانس بر اساس شبکه های عصبی مصنوعی برای یک ریزشبکه منفک

فرشید حبیبی<sup>۱</sup>، حسن بیورانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، farshid.habibi@uok.ac.ir

<sup>۲</sup>گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، bevrani@ieee.org

چکیده - افزایش تقاضای انرژی الکتریکی و کمبود سوخت های فسیلی سبب ورود تولید کننده های پراکنده به سیستم های قدرت شده است. ریزشبکه ها از چندین منبع تولید پراکنده و بارهای محلی تشکیل شده اند که قابلیت کار در هر دو حالت وصل و قطع از شبکه اصلی قدرت را دارا هستند. با افزایش تعداد ریزشبکه ها، بر میزان پیچیدگی سیستم های قدرت افزوده شد. این مسئله سبب می شود که کنترل کننده های مرسوم در گستره وسیعی از نقاط کار جواب بهینه ایی نداشته باشند. از اینرو در این مقاله به تنظیم خودکار (آنلاین) پارامترهای یک کنترل کننده مرسوم  $PI$ ، که در امر کنترل ثانویه فرکانس مورد استفاده قرار گرفته، توسط شبکه های عصبی مصنوعی پرداخته می شود. کلید واژه - تولید کننده پراکنده، ریزشبکه، کنترل ثانویه فرکانس، شبکه های عصبی مصنوعی، تنظیم خودکار (آنلاین).

پارامترهای اساسی شبکه همانند فرکانس و ولتاژ است. در حالیکه در حالت قطع از شبکه اصلی یا جزیره ایی، ریزشبکه مسئول حفظ پایداری، نگه داشتن پارامترهای شبکه در محدوده قابل قبول و تغذیه بارهای محلی خواهد بود [۶].

با افزایش یافتن تعداد ریزشبکه ها، بر میزان پیچیدگی و غیرخطی بودن سیستم های قدرت افزوده می شود و همین مسئله سبب می شود که کنترل کننده های کلاسیک همانند کنترل کننده های تناسبی-انترگرالی ( $PI$ ) در گستره وسیعی از نقاط کار جواب بهینه و مناسبی از خود نشان ندهند. زیرا این کنترل کننده ها در شرایط آرامش و نقطه کار نامی طراحی شده و در سیستم قرار می گیرند. اگر به دلیل رخدادهای تصادفی مانند اغتشاش های بار، اتصال کوتاه و ... این شرایط تغییر کند، دیگر همان پاسخ مناسب اولیه قابل مشاهده نخواهد بود. پس نیاز به روش های منعطف تر و هوشمندتر بیش از پیش احساس می شود. در این مقاله، به مطالعه پایداری فرکانسی یک ریزشبکه منفک از شبکه اصلی قدرت پرداخته شده است. در کارهای قبلی همانند [۷ و ۸]، کنترل کننده های کلاسیک  $PI$  برای پایداری سازی فرکانس استفاده شده است.

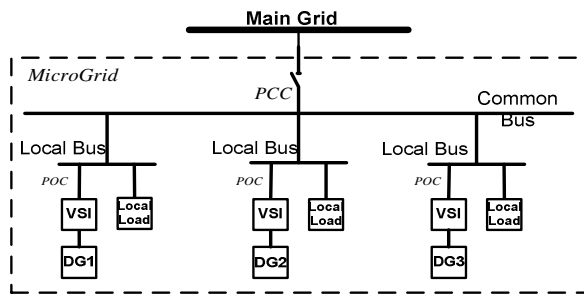
به دلیل استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی همانند توربین های بادی و سلول های خورشیدی و هم چنین طبیعت نوسانی این تولید کننده ها و اینرسی پایین ریزشبکه ها، با

### ۱- مقدمه

با افزایش رشد تقاضای انرژی الکتریکی در جهان، سیستم های قدرت مرسوم با مشکلات جدیدی همچون نگرانی های زیست محیطی، هزینه بالای احداث نیروگاه جدید و کمبود سوخت های فسیلی روبرو شده اند. برای غلبه بر این مشکلات و همچنین افزایش قابلیت اعتماد و امنیت انرژی، به تعویق انداختن احداث خطوط توان جدید و کاستن تراکم در خطوط انتقال و توزیع، مفهوم جدیدی به نام تولیدکننده های پراکنده<sup>۱</sup> به سیستم های قدرت مدرن معرفی گردید [۱ و ۲].

یک تولیدکننده پراکنده، یک منبع انرژی الکتریکی بوده که انرژی اولیه آن از منابع انرژی تجدید پذیر همانند باد، خورشید، سوخت های فسیلی و گرمایشی زمین تأمین می شود. چندین منبع تولید پراکنده و بارهای محلی در سمت توزیع/فوق توزیع، که با همدیگر به صورت مجتمع کار می کنند، یک ریزشبکه<sup>۲</sup> را تشکیل می دهند [۳].

اساس طراحی کنترلی در این ریزشبکه ها باید به شکلی باشد که بتواند در هر دو حالت وصل و قطع از شبکه سراسری به تغذیه بارهای محلی ادامه دهند [۴ و ۵]. در حالت وصل به شبکه، تمام تولیدکننده های پراکنده، برای تحویل یک توان ثابت به شبکه اصلی کنترل می شوند و شبکه اصلی قدرت مسئول حفظ



شکل ۱: ساختار کلی یک ریزشبکه

## ۲-۱- کنترل اولیه

اگر یک اغتشاش در سیستم قدرت اتفاق بیافتد که سبب بر هم خوردن تعادل میان تولید و مصرف شود، فرکانس از مقدار نامی دور شده و اگر این نوسانات کنترل نشوند، حتی می‌توانند منجر به خروج واحدهای تولیدی شوند. اولین حلقه کنترلی که این نوسانات فرکانسی را احساس می‌کند، کنترل اولیه است که روی ژنراتورهای سنکرون تعبیه شده است. این حلقه کنترلی بر اساس مشخصه توان حقیقی-فرکانس (P/f) ژنراتور که در معادله (۱) نشان داده شده است، عمل می‌کند.

$$f - f_0 = -k_p (P - P_0) \quad (1)$$

که در آن  $f_0$  و  $P_0$  به ترتیب فرکانس نامی و توان اکتیو شبکه هستند. اگر بر میزان تقاضای بار افزوده شود، فرکانس از مقدار نامی افت می‌کند. این افت توسط حلقه کنترلی اولیه محدود می‌شود. اگر این حلقه وجود نداشته باشد، این افت، به افتری ماندگار تبدیل شده و در نهایت حتی می‌تواند به خروج واحدهای تولیدی منجر شود.

## ۲-۲- کنترل ثانویه

در این حلقه کنترلی، معمولاً از کنترل‌کننده‌های کلاسیک PI برای حذف خطای ماندگار در فرکانس استفاده می‌شود. بعد از ایجاد نوسان در فرکانس به علت عدم وجود تعادل میان تولید و مصرف، این خطا و نوسان توسط کنترل اولیه محدود و توسط کنترل ثانویه صفر می‌شود.

## ۳- سیستم آزمون

برای آزمون روش کنترلی پیشنهادی، یک ریزشبکه منفک که مدل فرکانسی آن که در شکل ۲ نشان داده می‌شود، در نظر گرفته شده است. جزئیات این ریزشبکه در مرجع [۷] به صورت کامل ارائه شده است.

کوچک‌ترین اغتشاشی، پارامترهای اساسی از جمله فرکانس تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. بنابراین وجود کنترل‌کننده‌های مرکزی و محلی در ریزشبکه‌ها الزامی خواهد بود. در عمل این کار توسط کنترل‌کننده‌های PI انجام می‌شود. هر چند که این کنترل‌کننده‌ها اقتصادی و استفاده از آن‌ها ساده است، اما بنا بر دلایلی که ذکر شد همیشه بهترین گزینه نخواهند بود. راه حل ممکن که هم از این کنترل‌کننده‌ها استفاده شود و هم بر مشکلات آن‌ها غلبه کرد، این است که پارامترها و ضرایب کنترلی این کنترل‌کننده‌ها بسته به تغییرات حاصله در سیستم، تصحیح شوند.

بنابراین در این مقاله با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) پارامترهای یک کنترل‌کننده PI، به صورت آنلاین (خودکار) بر اساس تغییرات حاصله در سیستم تنظیم می‌شوند. بر این اساس اگر در سیستم و شرایط کاری تغییری حاصل شود، چارچوب کنترلی در نظر گرفته شده این تغییرات را احساس کرده و ضرایب کنترلی را تصحیح می‌کند.

## ۲- مفهوم و ساختار ریزشبکه‌ها

یک ریزشبکه شامل گروهی از بارها و منابع کوچک یا تولیدکننده‌های پراکنده است که قادرند به عنوان یک شبکه قدرت کنترل پذیر، بارهای خود را به صورت مستقل تغذیه نمایند. ساختار کلی یک ریزشبکه در شکل ۱ نشان داده می‌شود. ریزشبکه در نقطه اتصال مشترک (PCC) به شبکه اصلی متصل می‌شود. منابع موجود می‌توانند، AC یا DC باشند. این منابع به واسطه المانهای الکترونیک قدرت (اینورترها و کانورترها)، در نقطه اتصال (POC) به ریزشبکه متصل می‌شوند.

تعادل میان تولید و مصرف یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که باید در یک ریزشبکه در هر دو حالت وصل و قطع وجود داشته باشد. در حالت وصل، این تعادل به وسیله تبادل توان میان ریزشبکه و شبکه اصلی تأمین می‌شود. اما در حالت قطع، باید با به‌کارگیری یک استراتژی مناسب و کم و زیاد کردن تولید یا بار، تعادل میان تولید و مصرف را برقرار نمود [۹ و ۱۰]. برای این منظور در یک ریزشبکه وجود یک سری بارهای کنترل پذیر و منابع انرژی کنترل پذیر الزامی است.

این مقاله بروی تنظیم هوشمندانه فرکانس توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی تمرکز دارد. از اینرو در ادامه، به حلقه‌های مرسوم کنترلی که در تنظیم فرکانس استفاده می‌شوند، اشاره‌ای خواهد شد.

فرایندهای بهینه سازی، به یک مدل ریاضی از آن‌ها نیاز است که یک مدل ساده ریاضی از آنها در شکل ۳ نشان داده می‌شود. اجزای اصلی این مدل شامل وزن‌ها  $W_j$ ، مقدار بایاس  $\theta$  و تابع فعالیت  $f(\cdot)$  می‌باشند. مقادیر  $W_1, W_2, \dots, W_n$  ضرایب وزنی متناظر با هر ورودی و بردار  $X^T = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]$  بردار ورودی این شبکه عصبی مصنوعی است. بسته به مقدار حاصل شبکه (NET)، خروجی شبکه عصبی از طریق  $f(\text{net})$  مشخص می‌شود که رابطه دقیق آن در معادله (۲) آورده شده است.

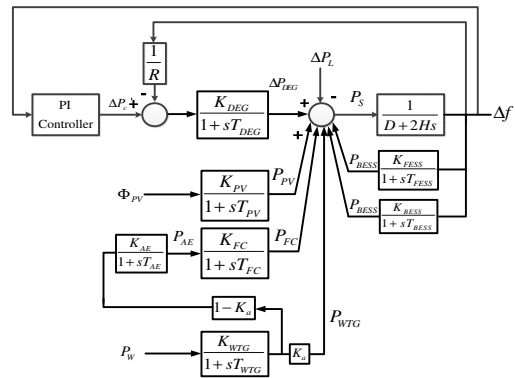
$$y(k) = f\left(\sum_{j=1}^n W_j x_j(k) + W_0 \theta\right) \quad (2)$$

توابع فعالیت بر حسب کاربرد، مشخص می‌شوند اما تانژانتی، لگاریتمی و خطی سه نوع مرسوم برای این شبکه‌ها می‌باشد. روش‌های یادگیری زیادی هم برای این شبکه‌ها مشخص شده است که در مرجع [۱۱-۱۳] به این روش‌ها ذکر شده است. در این مقاله برای آموزش وزن‌ها، از روش پس انتشار استفاده شده است. این روش یکی از بهترین و قوی‌ترین روش‌های آموزش بوده که توانایی تشخیص مینیمم‌های محلی و سراسری، سرعت بالا و سادگی به کارگیری از برجسته‌ترین ویژگی‌های این روش می‌باشد.

#### ۴-۲- طراحی کنترل کننده هوشمند

چارچوب کلی در نظر گرفته شده برای طراحی یک کنترل کننده هوشمند در شکل ۴ نشان داده می‌شود. در شکل ۴، شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک واحد هوشمند، برای تنظیم آنلاین (خودکار) پارامترهای یک کنترل کننده PI استفاده شده است. در روش کنترلی در نظر گرفته شده، شبکه عصبی مصنوعی با جمع کردن اطلاعات از چگونگی پاسخ ریزش‌بکه و ورودی‌های مشخص، وزن‌ها را برای اعمال سیگنال کنترلی متناسب تنظیم می‌کند.

شبکه عصبی مصنوعی به کار گرفته شده برای تنظیم آنلاین یک کنترل کننده کلاسیک PI، در شکل ۵ نشان داده شده است. در این ساختار، ۲۰ نرون خطی برای لایه ورودی، ۱۰ نرون غیر خطی برای لایه مخفی و همچنین ۲ نرون غیر خطی در لایه خروجی استفاده شده است. تعداد نرون‌های لایه خروجی برابر با تعداد پارامترهای کنترلی (تناسبی و انتگرالی) است که باید به صورت آنلاین تنظیم شوند. در شکل ۵،  $X$ ،  $W_1$  و  $W_2$  به ترتیب بردار ورودی، بردارهای وزنی لایه‌های اول و دوم هستند.



شکل ۲: مدل فرکانسی ریزش‌بکه آزمون

جدول (۱)

مقادیر پارامترهای بلوک دیاگرام شکل ب-۲

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
D (pu/Hz)	0.012	T <sub>DEG</sub> (s)	2
2H (pu s)	0.1667	T <sub>WTG</sub> (s)	1.5
T <sub>FESS</sub> (s)	0.1	T <sub>AE</sub> (s)	0.5
T <sub>BESS</sub> (s)	0.1	K <sub>WTG</sub>	1
T <sub>FC</sub> (s)	4	R (Hz/pu)	3
K <sub>FC</sub>	1.1	K <sub>Q</sub>	0.6
K <sub>AE</sub>	1.5	K <sub>DEG</sub>	1.3
K <sub>BESS</sub>	-1.3	K <sub>FESS</sub>	-1.1

در این ریزش‌بکه منفک، چندین منبع تولید پراکنده (DG)، یک توربین بادی، وسایل ذخیره کننده انرژی (BEES, FESS)، و یک پانل خورشیدی وجود دارند. یک کنترل کننده PI در کنترل ثانویه فرکانس استفاده شده که در حالت عادی به صورت سعی و خطا و بر حسب تجربه در مقادیر مشخصی تنظیم می‌شوند. در این مقاله پاسخ کنترل کننده کلاسیک PI، با کنترل کننده هوشمند PI مبتنی بر شبکه‌های عصبی، مقایسه شده است.

در مدل فرکانسی سیستم آزمون (شکل ۲)،  $\Delta P_s$ ،  $P_w$ ،  $\Phi_{PV}$ ،  $\Delta f$  به ترتیب نوسانات توان مکانیکی توربین بادی، کل توان تولیدی در ریزش‌بکه، تغییرات الگوی بار، نوسانات شار خورشید و نوسانات فرکانس ریزش‌بکه هستند. مقادیر پارامترهای بلوک دیاگرام نشان داده شده در شکل ۲ در جدول (۱) داده شده است.

#### ۴- استراتژی طراحی کنترل کننده هوشمند

##### ۴-۱- شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از قوی‌ترین ابزار بهینه سازی بوده که توانایی زیادی در پردازش و یادگیری به صورت موازی دارند. برای استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در

فرایند یادگیری شبکه عصبی مصنوعی به کار گرفته شده برای ریزشبه مورد نظر، مبتنی است بر اینکه تابع عملکرد داده شده در معادله (۴) حداقل گردد.  $y^d$  سیگنال مرجع و  $y^m$  اشاره به خروجی لایه‌های خروجی دارد.

$$E = \frac{1}{2}(y_d - y^m)^2 \quad (4)$$

فرایند به روز کردن وزن‌های لایه‌های اول و دوم در معادله (۵) داده شده است.

$$\begin{aligned} w_2(k+1) &= w_2(k) + \Delta w_2 = w_2(k) + \eta \sigma H \\ w_1(k+1) &= w_1(k) + \Delta w_1 = w_1(k) + \eta \delta X \end{aligned} \quad (5)$$

مراحل بدست آوردن  $\Delta W_1$  و  $\Delta W_2$  به ترتیب در معادلات (۶) و (۷) آورده شده است. تمام پارامترهایی که در محاسبه روابط  $\Delta W_1$  و  $\Delta W_2$  استفاده شده است، همانند (۶)  $(Net_j, H_j, \delta_k, \sigma_j)$  در شکل ۵ قابل مشاهده است. که در آن،  $\eta$  نرخ یادگیری بوده که مقدار کوچک مثبتی است. پروسه یادگیری تا رسیدن به مقدار مطلوب و کم‌ترین حد ممکن خطا ادامه می‌یابد.

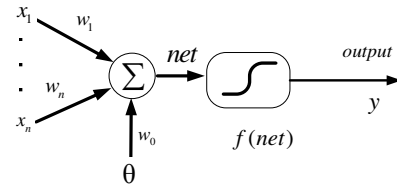
$$\left\{ \begin{aligned} \Delta W_2 &= -\eta \frac{\partial E}{\partial w_2} \\ \frac{\partial E}{\partial W_2} &= \frac{\partial E}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial u} \cdot \frac{\partial u}{\partial net_k} \cdot \frac{\partial net_k}{\partial W_2} \\ \frac{\partial u}{\partial net_k} &= f'(net_k) \\ \frac{\partial net_k}{\partial W_2} &= H_j \\ \frac{\partial E}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial u} \cdot \frac{\partial u}{\partial net_k} &= \delta_k \\ \Delta W_2 &= \eta \delta_k H_j \end{aligned} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta W_1 &= -\eta \frac{\partial E}{\partial w_1} \\ \frac{\partial E}{\partial W_1} &= \frac{\partial E}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial u} \cdot \frac{\partial u}{\partial net_k} \cdot \frac{\partial net_k}{\partial H_j} \cdot \frac{\partial H_j}{\partial net_j} \cdot \frac{\partial net_j}{\partial w_1} \\ \frac{\partial u}{\partial net_k} &= f'(net_k) \\ \frac{\partial net_k}{\partial H_j} &= W_2 \\ \frac{\partial H_j}{\partial net_j} &= f'(net_j) \\ \frac{\partial net_j}{\partial W_1} &= X \\ \Delta W_1 &= \eta \cdot \delta_k \cdot f'(net_k) \cdot W_2 \cdot f'(net_j) \cdot X = \eta \cdot \sigma_j \cdot X \end{aligned} \right. \quad (7)$$

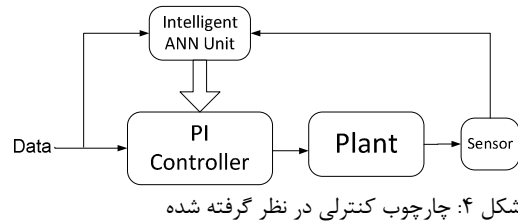
انتخاب شرایط اولیه یکی از مهم‌ترین مسائل بوده که با انتخاب اشتباه، می‌توانند پاسخ این شبکه‌ها را کاملاً تحت تأثیر قرار دهند. شرایط اولیه معمولاً بر اساس شناخت قبلی از انواع روش‌های یادگیری و سیستم آزمون انتخاب می‌شوند. از اینرو مقادیر اولیه به کار گرفته شده در شکل ۵ مطابق با معادله (۳) می‌باشد.

$$\begin{cases} X = \text{ones}(20,1) \\ W_1 = \text{rand}(10,20) \\ W_2 = \text{rand}(2,10) \end{cases} \quad (3)$$

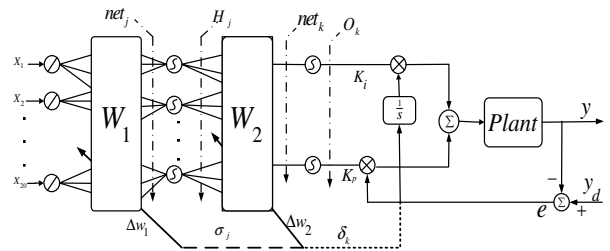
توابع در نظر گرفته شده برای لایه‌های مختلف در شکل ۶ نشان داده می‌شود. برای دو نرون لایه خروجی تابعی غیرخطی با ضرایبی متفاوت استفاده شده است که در شکل ۶ نشان داده شده است. مزیت اصلی استفاده از این توابع غیرخطی، به روز کردن وزن‌ها به صورت ملایم و آرام است که از تغییرات ناگهانی در وزن‌ها جلوگیری خواهد کرد.



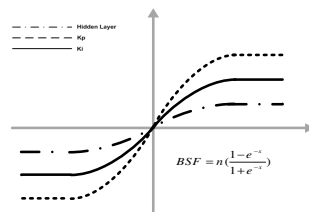
شکل ۳: یک مدل ریاضی نوعی از نرون‌ها



شکل ۴: چارچوب کنترلی در نظر گرفته شده



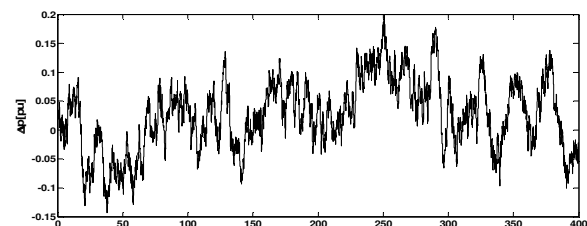
شکل ۵: ساختار شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته شده



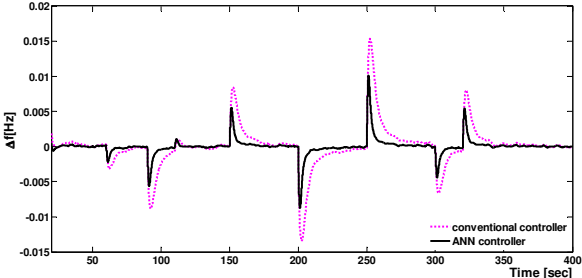
شکل ۶: توابع در نظر گرفته شده برای لایه‌های مخفی و خروجی

گرفته شده و نزدیک تر شدن به پاسخ واقعی ریزشبه، یک سری المان‌های غیرخطی، محدود کننده و تأخیرهای زمانی به مدل فرکانسی اولیه اضافه شده که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است.

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های فیزیکی مربوط به ژنراتور دیزلی بوده، که در اثر محدودیت‌های مکانیکی و گرمایی توانایی پاسخ به اغتشاش‌های وارده در آن واحد را نداشته و همیشه بین اتفاق افتادن اغتشاش و پاسخ به آن تأخیری وجود دارد. هم چنین به دلیل وجود فیلترهای متفاوت و کانال‌های مخابراتی، در انتقال پارامترهای اندازه گیری شده به سیستم‌های کنترلی نیز تأخیری وجود دارد. سیگنال‌های کنترلی نیز تا حد مشخصی می‌توانند کم و زیاد شوند و منابع تولید دارای باند مرده‌ایی هستند که تا سیگنال ورودی کنترلی به این منابع، به حد مشخص نرسد، فعال نخواهند شد. مدل در نظر گرفته شده برای ژنراتور دیزلی دقیق تر شده است. هم چنین برای موارد تأخیری یک بلوک تأخیر زمان (یک سیکل) در نظر گرفته شده، محدودیت در نرخ افزایش تولید نیز با بلوک‌های اضافه شده به مدل اصلاح گردیده است.



(الف)



(ب)

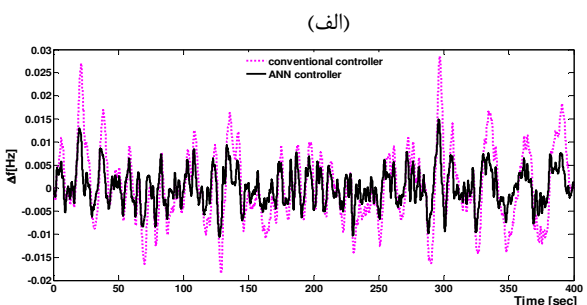
شکل ۸: الف) اغتشاش‌های وارده به ریز شبکه، ب) فرکانس ریزشبه در حضور کنترل کننده‌های هوشمند و کلاسیک

## ۵- نتایج شبیه سازی‌ها

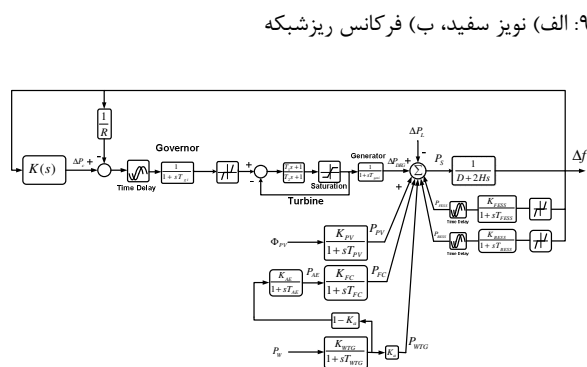
عملکرد روش پیشنهادی توسط چندین شبیه سازی، ارزیابی می‌شود. ابتدا، یک اغتشاش بار پله ایی تصادفی، نوسانات خروجی توان مکانیکی توربین بادی و نوسانات شار نور خورشید هم‌زمان به ریزشبه اعمال شده، و نتایج در شکل ۸ نشان داده شده است. اغتشاش‌های اعمالی و وضعیت فرکانس ریزشبه آزمون در شکل‌های الف-۸ و ب-۸ به ترتیب نشان داده شده است. از شکل ب-۸ قابل مشاهده است که زمانی که شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است به مراتب عملکرد مطلوب‌تری مشاهده می‌شود. در نتیجه نوسانات و انحراف‌های فرکانسی در مقایسه با کنترل کننده کلاسیک بسیار کمتر خواهد بود.

در شبیه سازی بعدی سعی شده که به ریزشبه یک اغتشاش سنگین‌تر اعمال شود. در این شبیه سازی، یک نویز سفید که دامنه آن از  $-0.2 pu$  تا  $0.2 pu$  متغیر است به سیستم اعمال کرده و نتایج آن در شکل ۹ نشان داده می‌شود. در شکل‌های الف-۹ و ب-۹ به ترتیب نویز سفید اعمالی و فرکانس ریزشبه متعاقب این نویز سفید مشاهده می‌شود. به وضوح قابل مشاهده است که در این شبیه سازی نیز، کنترل کننده هوشمند پیشنهادی در مقایسه با کنترل کننده کلاسیک PI عملکرد مطلوب‌تری را دارا می‌باشد.

همان گونه که در شکل ۲ نشان داده شد، مدل فرکانسی در نظر گرفته شده از ریزشبه، یک مدل خطی بوده که از بعضی دینامیک‌ها و محدودیت‌های فیزیکی صرف نظر شده است. هرچند که در بیشتر مطالعات فرکانسی، از مدل‌های خطی جهت تحلیل رفتار سیستم استفاده می‌شود، اما برای بهبود مدل در نظر

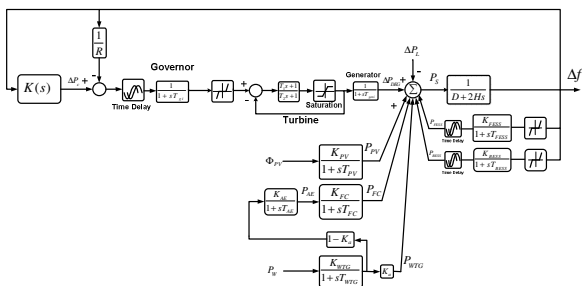


(الف)



(ب)

شکل ۹: الف) نویز سفید، ب) فرکانس ریزشبه

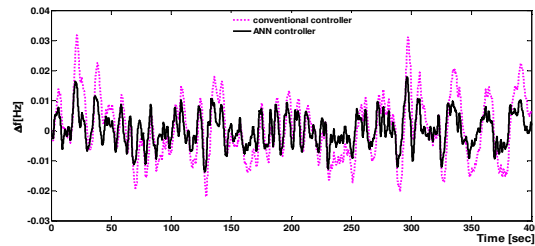


شکل ۱۰: مدل فرکانسی ریزشبه با در نظر گرفتن محدودیت‌های فیزیکی

- [5] R. H. Lasseter and P. Paigi, "Microgrid: a conceptual solution," in *Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual*, 2004, pp. 4285-4290 Vol.6.
- [6] J. A. P. Lopes, C. L. Moreira, and A. G. Madureira, "Defining control strategies for MicroGrids islanded operation," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 21, pp. 916-924, 2006.
- [7] L. Dong-Jing and W. Li, "Small-Signal Stability Analysis of an Autonomous Hybrid Renewable Energy Power Generation/Energy Storage System Part I: Time-Domain Simulations," *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, vol. 23, pp. 311-320, 2008.
- [8] T. Senjyu, T. Nakaji, K. Uezato, and T. Funabashi, "A hybrid power system using alternative energy facilities in isolated island," *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, vol. 20, pp. 406-414, 2005.
- [9] H. Bevrani, *Robust power system frequency control*. New York, NY: Springer, 2009.
- [10] P. Kundur, J. Paserba, V. Ajjarapu, G. Andersson, A. Bose, C. Canizares, N. Hatziargyriou, D. Hill, A. Stankovic, C. Taylor, T. Van Cutsem, and V. Vittal, "Definition and classification of power system stability IEEE/CIGRE joint task force on stability terms and definitions," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 19, pp. 1387-1401, 2004.
- [11] H. Bevrani and T. Hiyama, *Neural Network based AGC design, Chapter 5 in Intelligent Automatic Generation Control*. New York, USA: CRC Press (Taylor & Francis Group), April 2011.
- [12] H. Bevrani. (2011). *Artificial Neural Networks, Lecture notes, available on line, from <http://www.bevrani.com/ANN/ANN.htm>*.
- [13] M. M. Gupta, *Static and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals to advanced Theory*: IEEE Press & John Wiley, 2003.

## پانوشت

- 1- Distributed Generation (DG)
- 2- Microgrid
- 3- Artificial Neural Network (ANN)
- 4- Point of Common Coupling (PCC)
- 5- Point of Connection (POC)
- 6- Battery Energy Storage System (BESS), Flywheel Energy Storage System (FESS)



شکل ۱۱: فرکانس ریزشبه غیرخطی متعاقب نویز سفید

برای نشان دادن عملکرد مطلوب تر کنترل کننده هوشمند طراحی شده بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی، نویز سفید به این مدل اعمال شده و وضعیت فرکانس ریزشبه، در دو حالت استفاده از کنترل کننده پیشنهادی و کنترل کننده کلاسیک PI در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همچنان که در این حالت نیز قابل مشاهده است، کنترل کننده هوشمند طراحی شده عملکرد به مراتب مطلوب تری دارد.

## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله ابتدا بر دلایل پیدایش تولید کننده‌های پراکنده و ریزشبه‌ها پرداخته شد، سپس نیاز به روش‌های کنترلی هوشمند در این سیستم‌ها توجیه گردید. در این مقاله، اقدام به طراحی یک کنترل کننده هوشمند PI در امر کنترل ثانویه فرکانس یک ریزشبه، بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی گردید. عملکرد مطلوب روش کنترلی پیشنهادی در مقایسه با کنترل کننده‌های کلاسیک در چندین شبیه سازی نشان داده شد. از نتایج حاصله، این عملکرد مطلوب به وضوح قابل برداشت بوده و انحراف‌های فرکانسی ریزشبه متعاقب اغتشاش‌های وارده، توسط روش کنترلی پیشنهادی به مراتب کاهش یافته است.

## مراجع

- [1] P. P. Barker and R. W. De Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems," in *Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE*, 2000, pp. 1645-1656 vol. 3.
- [2] H. B. Puttgen, P. R. MacGregor, and F. C. Lambert, "Distributed generation: Semantic hype or the dawn of a new era?," *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 1, pp. 22-29, 2003.
- [3] R. H. Lasseter, J. H. Eto, B. Schenkman, J. Stevens, H. Vollkommer, D. Klapp, E. Linton, H. Hurtado, and J. Roy, "CERTS Microgrid Laboratory Test Bed," *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 26, pp. 325-332, 2011.
- [4] S. P. Chowdhury, P. Crossley, and S. Chowdhury, *Microgrids and Active Distribution Networks*. London, United Kingdom: Institution of Engineering and Technology, 2009.