

KNO-1002-4004

کاربرد کنترل کننده عاطفی BELBIC در ژنراتورهای دو سو تغذیه DFIG نیروگاه های بادی

امراالله قیصری (آتش آب پرور)

کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش کنترل - دانشگاه آزاد اسلامی ایذه

Amrollahghesari1982@gmail.com

چکیده :

تغییرات توان خروجی بر اثر تغییرات سرعت باد را می توان به عنوان مشکل اصلی توربین های بادی مطرح نمود و از این رو کنترل فرکانس در مولدهای بادی بسیار اهمیت دارد. هدف از پژوهش حاضر کاربرد کنترل کننده عاطفی BELBIC در ژنراتورهای دو سو تغذیه DFIG نیروگاه های بادی می باشد. روش مورد استفاده در این پژوهش، استفاده از کنترل کننده عاطفی برای STATCOM و باتری در یک ژنراتور القایی سه فاز دو سیم پیچه ایزوله به منظور کنترل ولتاژ و استخراج ماکزیمم توان مبتنی بر DFIG می باشد. سیستم های تک ناحیه ای در سه حالت بدون کنترل کننده، کنترل کننده تنظیم شده تناسبی - انتگرالی - مشتق گیر و کنترل کننده مبتنی بر هوش عاطفی مورد بررسی قرار می گیرد. نتایج به دست آمده نشان خواهد داد که در حالتی که از کنترل کننده پیشنهادی استفاده شود، توربین ها انحراف فرکانسی به مراتب کوچکتری نسبت به حالت بدون کنترل و حتی تناسبی - انتگرالی - مشتق گیر نیز دارد و محدوده انحراف از فرکانس 50 هرتز، کمتر از 0/001 است که نشان از قدرت بالای کنترل کننده پیشنهادی می باشد.

کلید واژه ها: توربین های بادی، ژنراتور DFIG، جبران کننده سنکرون استاتیکی STATCOM، کنترل کننده عاطفی BELBIC

را نیز می توان کنترل نمود تا قابلیت دذبال کردن ماکزیمم توان (MPPT)¹¹ یا تنظیم توان حقیقی خروجی وجود داشته باشد (Zhang et al., 2012).

1- مقدمه

DFIG، پرکاربردترین ژنراتور برای استفاده در توربین های بادی است (Yang et al., 2012). مبدل های الکترونیک قدرت می توانند مشخصه های ژنراتور مثل سرعت و توان راکتیو را کنترل کنند. این ساختار اجازه می دهد که از عملکرد سرعت متغیر برای دذبال کردن نقطه ماکزیمم توان استفاده شود. در این سیستم استاتور به طور مستقیم به شبکه متصل می گردد و روتور از طریق جاروبک و Slip rings به مبدل الکترونیک قدرت متصل می شود ژنراتور القایی روتور سیم پیچی شده دارای سیم پیچی سه فاز روی روتور و استاتور است. ترمینال این دو سیم پیچ روتور و استاتور به منبع انرژی متصل هستند، از این رو به عنوان ژنراتورهای القایی از دو سو تغذیه و یا ژنراتور القایی با دو خروجی (DOIG)¹² شناخته می شوند (European Wind Energy

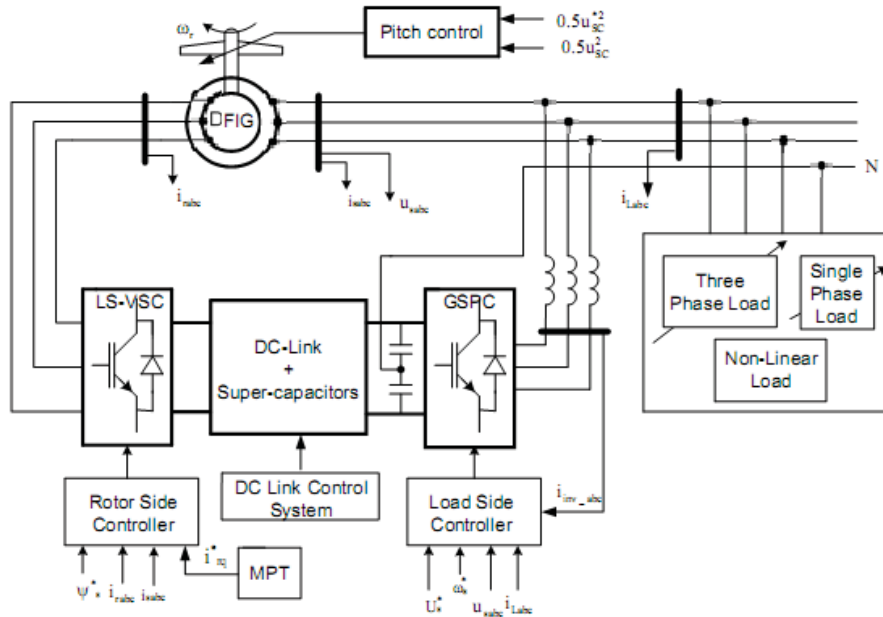
بشر با نگاهی دوباره به خورشید، باد و سایر منابع طبیعی پاک و لایزال، سعی نموده است که وابستگی خود به منابع فسیلی را تا حد امکان کم و کمتر نماید. یکی از ارزان ترین و سهل الوصول ترین آنها انرژی باد است (Jacobson and Delucchi, 2011). بررسی میزان استفاده از این انرژی در سال های اخیر به خوبی گویای اهمیت و جایگاه آن در تامین انرژی در سطح جهان می باشد. برای تبدیل انرژی باد به انرژی الکتریکی روش های مختلفی به کار رفته است که معمول ترین آن ها استفاده از ژنراتور القایی می باشد. ژنراتور القایی با تغذیه دو گانه (DFIG) از مبدل های پشت به پشت VSC استفاده می کنند. که بین سیم پیچ های روتور و استاتور متصل شده اند. این ساختار اجازه می دهد که هم مبدل های سمت روتور و هم مبدل های سمت منبع، قدرت کنترل توان راکتیو را داشته باشند. در DFIG، همچنین سرعت ماشین

¹²Double OutPut Induction Generator

¹¹ Maximum Power Point Tracking

همکاران (2014) نیز پیشنهاد شده است، ولی در اینجا برای بهبود قابلیت تحمل کمبود ولتاژها مورد استفاده قرار خواهد گرفت. توان خروجی DFIG متغیر است و ممکن است برای تامین توان مورد تقاضای بار کافی نباشد. علاوه بر این، در طول حالات گذرا به ویژه وقتی که بارهای بزرگ به طور ناگهانی وصل می شوند، سیستم کند کنترل DFIG قادر به تامین توان گذرا نیست و در نتیجه ولتاژ و فرکانس مزرعه انحراف زیادی را متحمل می شوند. بنابراین، افزودن یک سیستم ذخیره انرژی با پاسخ سریع به سیستم کنترلی DFIG، یک نقش مهم در بهبود کیفیت دینامیک گذرای سیستم و کیفیت توان تغذیه شده به بار خواهد داشت (Surinkaew and Ngamroo, 2014). سیستم ذخیره انرژی خازن های بزرگ (Super Capacitor)، قادر به تامین توان زیاد و آزاد کردن میزان زیادی از انرژی در زمان کوتاهی است، با این حال، این سیستم در مقایسه با باتری ها کوچکتر هستند. سیستم های ایزوله معمولاً باید توان انواع مختلف بارها اعم از خطی، غیر خطی، تکفاز، متعادل و نامتعادل را تامین کند (Hu et al., 2014). بنابراین، هارمونیک های جریان بارهای غیر خطی و نامتعادل، باعث افزایش تلفات حرارتی داخلی می شوند و باعث تولید ناخواسته ارتعاشات گشتاور می شوند که باعث افزایش فشارهای مکانیکی سیستم می شود. در Ellabban و همکاران (2014)، مبدل سمت بار DFIG استفاده شده است تا مثل یک فیلتر توان اکتیو عمل بکند. شکل (1) طرح سیستم DFIG را در حالت جدا از شبکه نشان می دهد. این سیستم شامل DFIG، زاویه گام متغیر توربین، لینک DC با سیستم ذخیره انرژی (خازن های بزرگ) و دو مبدل با سطوح مختلف ولتاژ است. سطح ولتاژ DC در سمت شبکه (بار) طوری انتخاب می شود که با ولتاژ نامی نقطه اتصال مشترک (PCC) مطابقت داشته باشد، در حالیکه ولتاژ DC مبدل سمت روتور باید با ولتاژ روتور DFIG مطابق باشد. هدف، عدم نیاز به ترانسفورماتورهای قدرت بین مبدل ها و سمت AC ژنراتور DFIG است (Ellabban et al., 2014).

Association, 2012). قابلیت کنترل سرعت ژنراتور و همچنین ضریب توان قابل کنترل، باعث بهبود بازدهی و پایداری ژنراتور می شود. همچنین، این ژنراتور قابلیت کنترل توان های اکتیو و راکتیو را دارد، در حالی که مبدل سمت منبع، ولتاژ لینک dc را ثابت نگه می دارد (Zhang et al., 2012). توربین بادی سرعت متغیر با ژنراتور DFIG، می تواند با استفاده از مبدل پشت به پشت در روتور، کنترل ولتاژ و فرکانس را انجام دهد. که در این نوع ژنراتور ها ممکن است در مواجهه با افت ولتاژ، دچار مشکلاتی شوند، زیرا افت ولتاژ باعث ایجاد ولتاژها و جریان های بزرگی در مدار روتور می شوند و ممکن است مبدل قدرت دچار آسیب شود. تکنولوژی DFIG، بیشترین انرژی را از سرعت های کم باد دریافت می کند و فشارهای مکانیکی را بر توربین به حداقل می رساند (Chhabra and Joshi, 2015). مزیت دیگر تکنولوژی DFIG، توانایی مبدل های الکترونیک قدرت در تولید یا جذب توان راکتیو است، بنابراین، دیگر نیازی به نصب بانک های خازنی وجود ندارد (Chitti and Mohanty, 2010). سیستم های قدرت به ویژه بادی برای تامین بارها در مناطق دورافتاده در حال گسترش می باشند. توربین های بادی با ژنراتور DFIG، مطلوب ترین گزینه برای این کاربرد هستند (Shukla and Tripathi, 2015). در DFIG، قدرت مبدل های الکترونیک قدرت کاهش داده می شود و انعطاف پذیری در کنترل توان تولید شده را فراهم می کند تا با توان مورد تقاضای بار مطابقت داشته باشد و بیشترین توان خروجی را از توربین به دست می آورد (Trifkovic et al., 2014; Zhang 2016). با این حال، طرح های کنترلی DFIG به دلیل کاهش قابلیت در طول کمبود ولتاژ، مشکلاتی را تحمل می کنند. در Sitti و همکاران (2015) یک مبدل کمکی برای حذف نوسانات شار استاتور استفاده شده است. استفاده از یک مبدل کمکی در Reigosa و



شکل (1): سیستم DFIG در حالت جدا از شبکه

سوییچ از اینورتر چهار سوییچ برای تامین توان رکتیو مورد نیاز ژنراتور القایی قفسی استفاده گردد. در [19] یک ژنراتور القایی، با دو سیم پیچی استاتور ساخته شده است که به صورت ایزوله از شبکه فعالیت می کند. در این ژنراتور در شیارهای استاتور، دو دسته سیم پیچی جا سازی شده است. یکی از سیم پیچی ها، تحت عنوان سیم پیچی قدرت دوازده فاز نام گذاری شده است، که از طریق یک یکسوساز پل دوازده فاز، توان DC را تأمین می کند. سیم پیچی دیگر، سیم پیچی تحریک سه فاز نام دارد که به یک رگولاتور تحریک استاتیک 1 از نوع منبع ولتاژ با مدولاسیون پهنای پالس 1 متصل شده است. در [20]، یک مدل d-q ساده از یک SEIG چند فاز (شش فاز) نشان داده شده است.

نحوه انتخاب خازن مورد نیاز برای موازی کردن با خروجی ژنراتور در مراجع Jafari و همکاران (2015)؛ Tiwariandj and Diwedi (2012) آمده است. در اغلب موارد خازنهای ثابت قادر به تامین مقدار کافی توان رکتیو نمی باشند. به همین خاطر از خازنهای ثابت و سوییچی استفاده می شود. در ابتدا خازنهای سوییچی در حداقل مقدار خود در مدار حضور دارند. سپس توسط بلوکهای کنترل توان در صورت لزوم وارد مدار می شوند. استفاده از جبران سازهای استاتیکی توان رکتیو (SVC) به دلیل سرعت پاسخ سریع و کنترل پیوسته توان کاربرد زیادی دارد (Movahednasab et al., 2008). در ژنراتورهای منفصل

استفاده از جبران سازهای استاتیکی توان رکتیو (SVC) به دلیل سرعت پاسخ سریع و کنترل پیوسته توان کاربرد زیادی دارد (Chanandl and Loi, 2011). در ژنراتورهای منفصل بدلیل کمبود یا اضافه بودن توان رکتیو و ولتاژ و فرکانس، آشفتگی بوجود می آید. در مراجع Bhatti و همکاران (2012)؛ Movahednasab و همکاران (2015) استفاده از D-STATCOM، تزریق یا مصرف توان رکتیو، کنترل پروفیل ولتاژ باسی که ژنراتور به آن متصل است، انجام شده است.

تامین توان رکتیو ژنراتور القایی بدون استفاده از خازن موازی با ژنراتور، در Yattana and Watcharrin (2015) مورد بررسی قرار گرفته است. انرژی اولیه مورد نیاز برای تحریک ژنراتور توسط باتری موجود در اینورتر سه فاز تامین می گردد. پس از تولید ولتاژ خروجی، خازن لینک dc شارژ شده و توان رکتیو مورد نیاز بار را تامین می کند. همچنین کنترل ولتاژ خازن لینک dc اینورتر (D-STATCOM) با تکنیک کلیدزنی SVM با استفاده از کنترل کننده PI صورت گرفته است.

از طرف دیگر در Yattana and Watcharrin (2015) برای تامین توان رکتیو مورد نیاز ژنراتور القایی قفس منفصل از شبکه از یک اینورتر سه فاز شش سوییچ با یک خازن لینک DC (STATCOM) استفاده می گردد. در این تحقیق پیشنهاد می شود بجای اینورتر شش

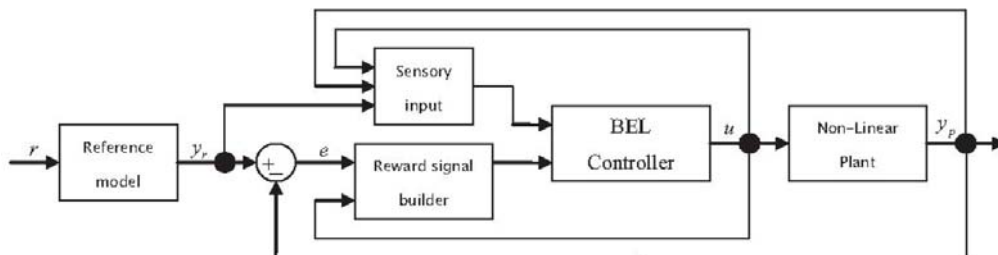
می کند. همچنین کنترل ولتاژ خازن لینک dc اینورتر (D-STATCOM) با تکنیک کلیدزنی SVM با استفاده از کنترل کننده PI صورت گرفته است.

پدیده هایی نظیر کمبود ولتاژ و یا ناپایداری ولتاژ، از پدیده هایی هستند که به وفور در بارها و شبکه های صنعتی رخ می دهند. از اینرو با توجه به فراوانی موتورهای الکتریکی القایی در رنج توان های مختلف، بررسی رفتار و مشخصه های ماشین القایی بسیار حائز اهمیت می باشد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر کاربرد کنترل کننده عاطفی BELBIC در ژنراتورهای دو سو تغذیه DFIG نیروگاه های بادی می باشد.

بدلیل کمبود یا اضافه بودن توان اکتیو و راکتیو در ولتاژ و فرکانس، آشفتگی بوجود می آید. در مراجع Movahednasab و همکاران (2015) با استفاده از D-STATCOM، تزریق یا مصرف توان راکتیو، کنترل پروفیل ولتاژ باسی که ژنراتور به آن متصل است، انجام می گردد. تامین توان راکتیو ژنراتور القایی بدون استفاده از خازن موازی با ژنراتور، در مرجع Yattana and Watcharrin (2014) مورد بررسی قرار گرفته است. انرژی اولیه مورد نیاز برای تحریک ژنراتور توسط باتری موجود در اینورتر سه فاز تامین می گردد. پس از تولید ولتاژ خروجی، خازن لینک dc شارژ شده و توان راکتیو مورد نیاز بار را تامین

2 روش تحقیق و شبیه سازی روش پیشنهادی

در کنترل کننده هوشمند عاطفی مبتنی بر یادگیری در مغز که در این پژوهش مورد شبیه سازی قرار گرفته، تنظیم پارامترهای کنترل کننده بر اساس مدل محاسباتی آمیگدالا¹³ انجام می شود (شکل 2).



شکل (2): ساختار کلی کنترل حلقه بسته مبتنی بر هوش عاطفی

بر این اساس با انتخاب مناسب سیگنال عاطفی¹⁴ و سیگنال حسی¹⁵ پرداخته شده است. سیگنال عاطفی بر اساس سیگنال کنترلی u و خطای خروجی محاسبه می گردد. سیگنال حسی نیز از با تعیین دامنه

جدول (1): مقادیر پارامترهای کنترل کننده

نام پارامتر	مقدار	نام پارامتر	مقدار
k_e	5	r_{\min}	0/01
k_i	0.1	r_{\max}	-0/01
k_d	2	e_{\min}	0/1
k_u	(0,1)	e_{\max}	-0/1
α	10^{-6}	V	1
β	10^{-3}	V_{th}, W	-1

¹³ Amygdala

¹⁴ Reward

¹⁵ Sensory

بدین ترتیب با در نظر گرفتن مقادیر جدول (1)، در بخش بعدی به شبیه سازی کنترل کننده پیشنهادی، پرداخته شده است. در ادامه به کمک نرم افزار متلب به شبیه سازی کنترل کننده مبتنی بر هوش عاطفی در سه حالت، سیستم توربین بادی پرداخته شد. در واقع کنترل فرکانس یک توربین بادی به روش پیشنهادی با استفاده از کنترل مبتنی بر هوش عاطفی انجام می شود. برای این منظور، مشخصات توربین بادی و ژنراتور استفاده شده در جداول (2) تا (4) آورده شده است.

جدول (2): پارامترهای مدل ژنراتور

2.2 MW	ظرفیت سنکرون
3.11 Mw.s/Hz	اینرسی معادل کل
1 MW/Hz	ثابت تضعیف
0.2 s	ثابت زمانی گاورنر
0.3 s	ثابت زمانی توربین
12 s	ثابت زمانی دوباره گرمکن
11 Hz/(p.u MW)	تنظیم سرعت
0.35	بهره کنترل انتگرالگیر

جدول (3): پارامترهای مدل توربین بادی

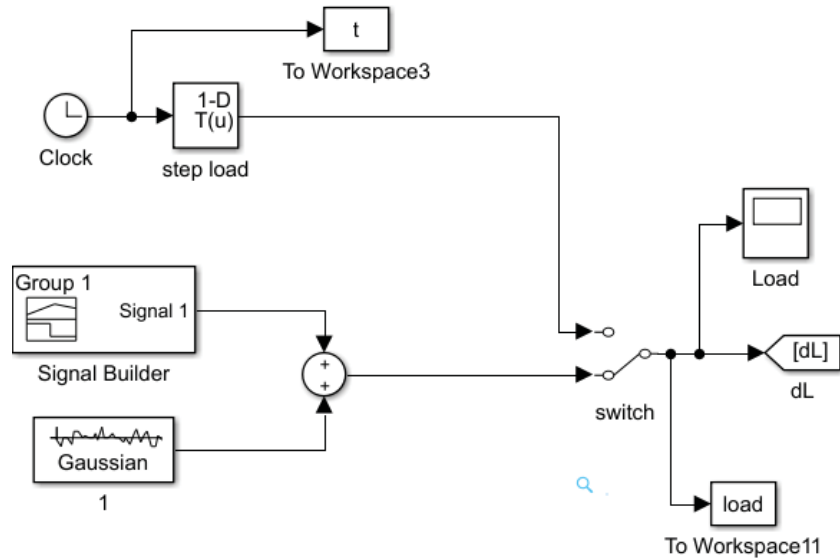
2 MW	ظرفیت
0.00491 pu	مقاومت استاتور
0.00552 pu	مقاومت روتور
0.09273 pu	راکتانس استاتور
0.1 pu	راکتانس روتور
3.96595 pu	راکتانس مغناطیس شونده
4.5 s	ثابت اینرسی فشرده
95%	بازده
0.5	بهره تناسبی
0.5	بهره انتگرالی
19.4 GW	ظرفیت کل توربین ها
9700	تعداد توربین ها

جدول (4): مدل کنترل پاسخ فرکانسی

TW	1 s
Tf	20 s

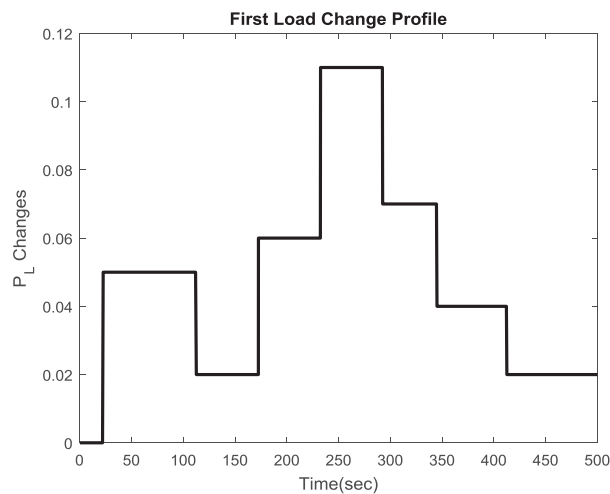
برای هر سه حالت ذکر شده از دو ورودی کنترلی "پله" ورودی آغشته به نویز گاوسی استفاده می شود.

بلوک dL ($\overset{dL}{T}$) بارگذاری (ورودی کنترلی) را نشان می‌دهد که بلوک دیاگرام مربوط به آن در شکل (3) نشان داده شده است:



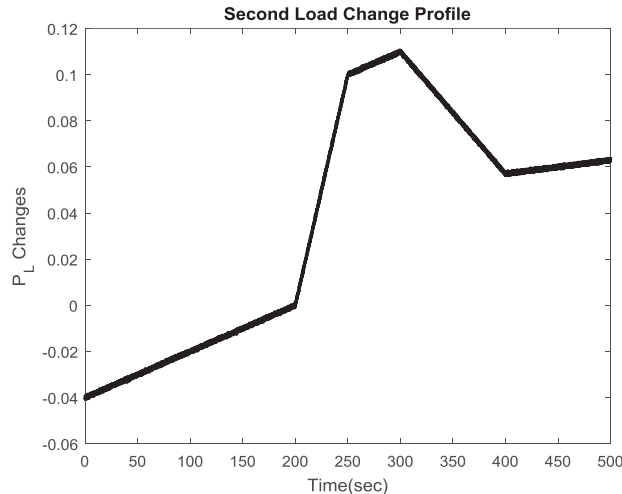
شکل (3): بلوک دیاگرام بارگذاری (ورودی کنترلی) در دو حالت مختلف

همانطور که در شکل (3) مشاهده می‌شود، کلید switch جهت تعیین نوع بار، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی که کلید در وضعیت بالا قرار داشته باشند، بار اعمالی، پلکانی خواهد بود. در صورتی که کلید به سمت پایین باشد، بارگذاری نوع تصادفی (همراه نویز گاوسی) خواهد بود. با قرار دادن کلیدها در حالتی که بارگذاری پلکانی فعال باشد، شکل موجی به مانند شکل (4) به سیستم اعمال می‌گردد. البته این بارگذاری یک نوع موج مربعی شکل است که در بازه‌های زمانی مختلف مقادیر متفاوتی را داراست.



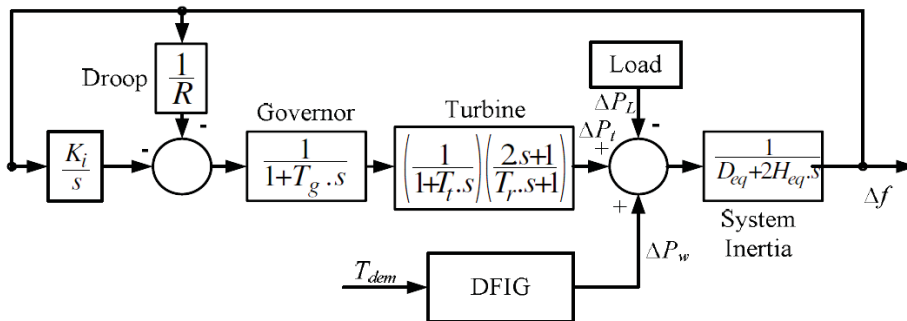
شکل (4): پروفایل بارگذاری اول

بارگذاری نوع دوم در شکل (5) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مقادیر این بارگذاری از مقادیر منفی شروع شده و پس از رسیدن به نقطه اوج مثبت، پس از افت و صعود در حدود مقدار 0/06 متوقف گردیده است.



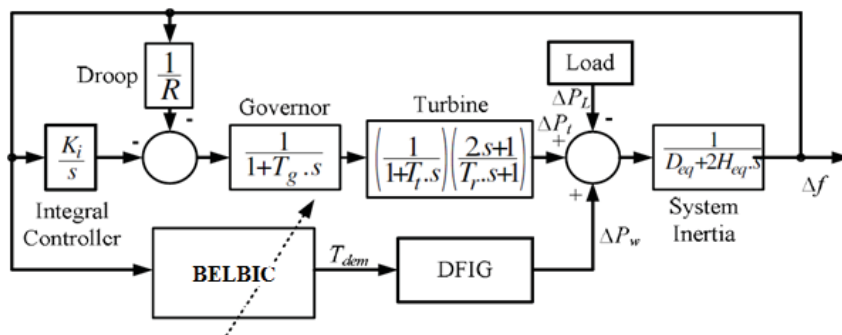
شکل (5): پروفایل بارگذاری نوع دوم

1. بدون کنترل کننده
 2. کنترل کننده عصبی- فازی تطبیقی
 3. کنترل کننده مبتنی بر هوش عاطفی
- که در ادامه دیاگرام حالات بدون کنترل کننده و با کنترل کننده مبتنی بر هوش عاطفی نمایش داده شده است.
- در حالت بدون استفاده از کنترل کننده، کنترل کننده حلقه خارجی مورد استفاده قرار نگرفته است. شکل (6) بلوک دیاگرام حالت بدون کنترل کننده را نشان می‌دهد:



شکل (6): بلوک دیاگرام سیستم در حالت بدون کنترل کننده

دومین حالت مربوط به کنترل کننده مبتنی بر هوش عاطفی است که بلوک دیاگرام آن در شکل (7) مشاهده می‌گردد:



شکل (7): بلوک دیاگرام سیستم به همراه کنترل کننده مبتنی بر هوش عاطفی

در بازه زمانی مشخص مورد بررسی قرار گرفته است. در این بخش به ازای بار پلکانی و دو نوع بار تصادفی، نوسانات فرکانس، تغییرات توان توربین و تغییرات توان باد مورد ارزیابی قرار گرفته است.

3-1 بارگذاری پلکانی

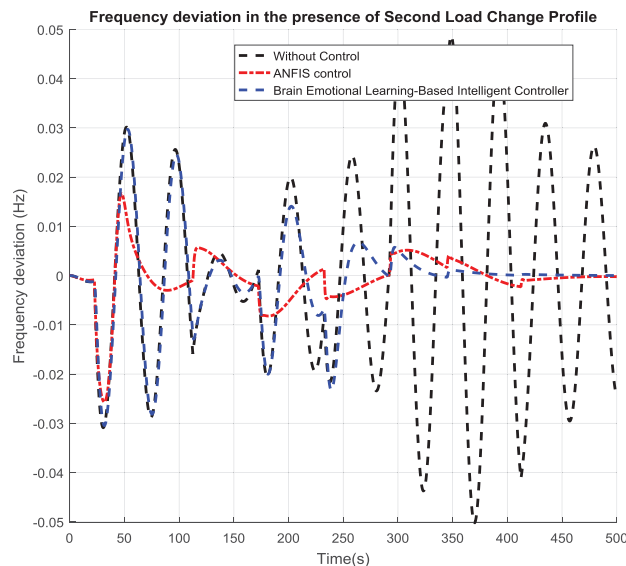
به ازای بارگذاری پلکانی، همان گونه که در شکل (8) نمایش داده شده، برای حالتی که از کنترل کننده ای استفاده نشده است، انحرافات فرکانسها بسیار بیشتر از حالت کنترل شده می باشد و نوسانات فرکانسهای به دست آمده برای کنترل کننده مبتنی بر هوش عاطفی دارای دامنه کوچکی می باشد.

این کنترل کننده مبتنی بر هوش عاطفی می باشد. هدف این کنترل کننده، کاهش تغییرات سیگنال ورودی انحرافات فرکانس به انحرافات ممان وارده برای جبران سازی بارهای وارده می باشد.

تنظیم مناسب پارامترهای کنترل کننده خصوصاً ضرایب سیگنال عاطفی و دامنه تغییرات سیگنال ورودی مرجع و خطا حائز اهمیت است که با در نظر گرفتن حالات مختلف، مقادیر مناسب طبق جدول (1) انتخاب شده است.

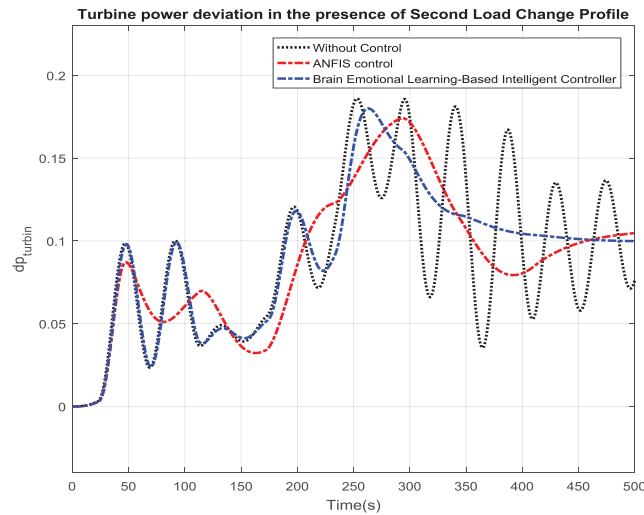
3 نتایج و تحلیل نتایج

به منظور بررسی توانایی روش مبتنی بر هوش عاطفی، در دو حالت بدون کنترل کننده و با کنترل کننده پیشنهادی، تغییرات فرکانس



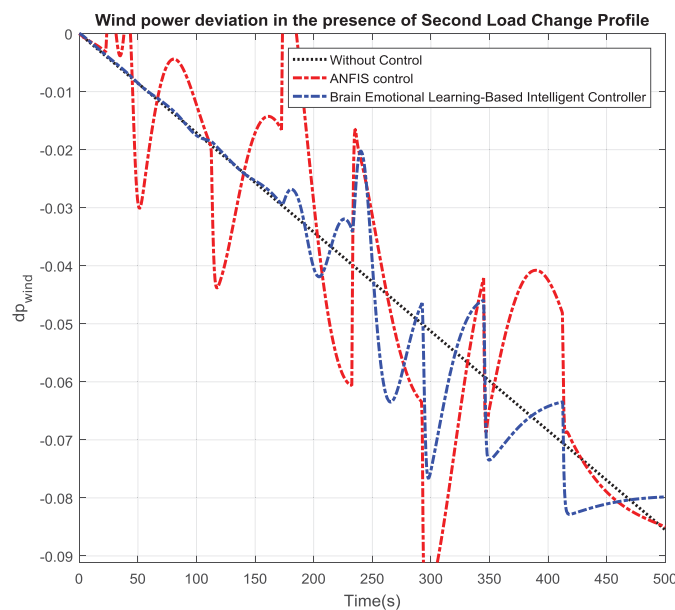
شکل (8): تغییرات فرکانس برای دو حالت در سیستم قدرت تک ناحیه ای به ازای بار با تغییرات پلکانی

تغییرات توان توربین نیز در دو حالت ذکر شده در شکل (8) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده برای تغییرات توان نیز مشابه نتایج به دست آمده برای فرکانسها می باشد. انحرافات توان توربین برای حالتی که از کنترل کننده خارجی استفاده نگردیده است بیشتر از انحرافات توان برای حالت کنترل شده است. استفاده از کنترل کننده مبتنی بر هوش عاطفی نتایج قابل مقایسه ای را نسبت به حالت عصبی- فازی تطبیقی به دست می دهد.



شکل (9): تغییرات توان توربین برای سه حالت به ازای بار با تغییرات پلکانی

توان باد تولید شده در سه حالت نیز در شکل (9) نمایش داده شده است. مشاهده می شود که پروفایل باد تولید شده برای حالت بدون کنترل یک خط راست است در حالی که دو حالت دیگر توانایی تولید باد بیشتری را دارند. تغییرات توان باد برای سه حالت به ازای بار با تغییرات پلکانی در شکل (10) به نمایش در آمده است.

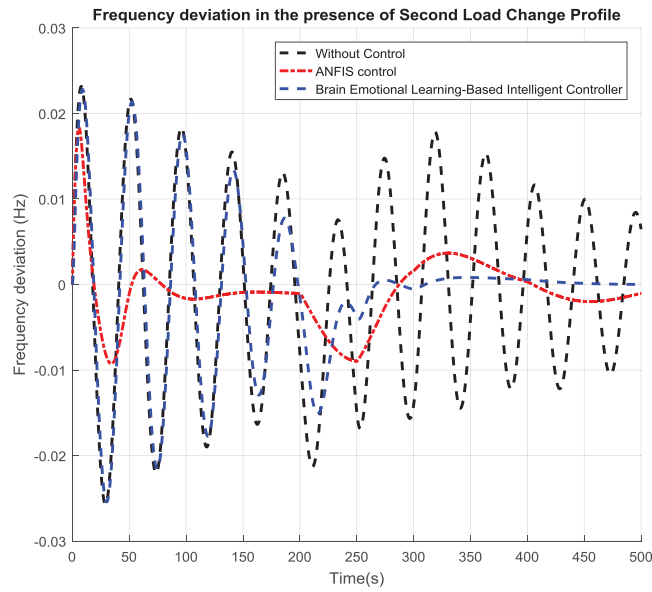


شکل (10): تغییرات توان باد برای سه حالت به ازای بار با تغییرات پلکانی

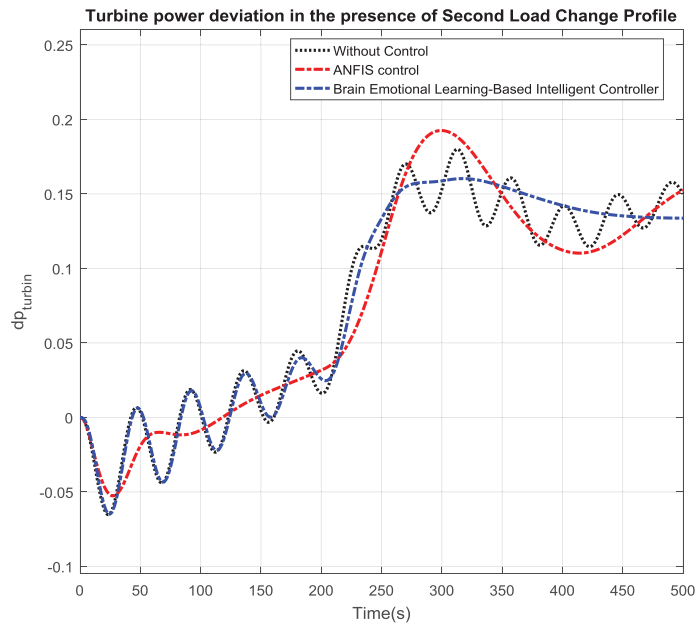
لذا کنترل کننده مبتنی بر هوش عاطفی نتایج قابل مقایسه ای را نسبت به حالت عصبی- فازی تطبیقی به دست می دهد.

2-3 بارگذاری نوع دوم

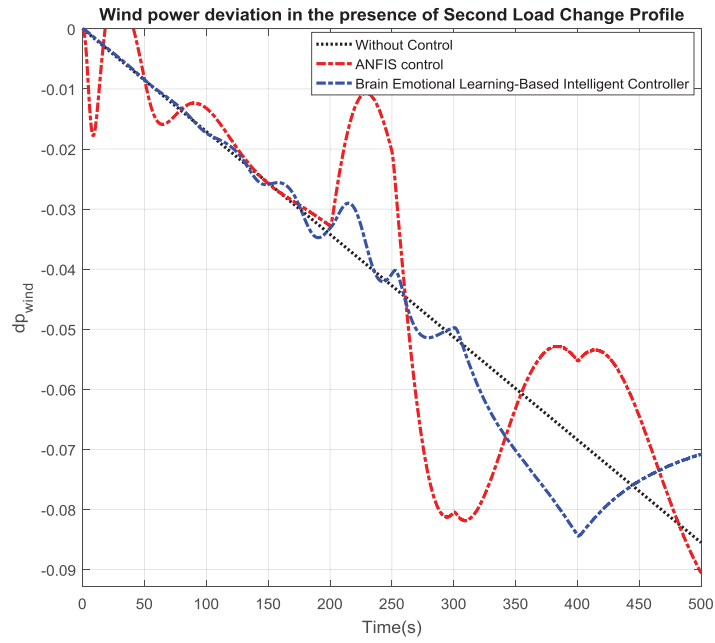
در این حالت، بارگذاری نوع دوم، طبق شکل (11) انجام می گردد. برای حالتی که از کنترل کننده ای استفاده نشده است، انحرافات فرکانس ها بسیار بیشتر از حالت کنترل شده می باشد و نوسانات فرکانس های به دست آمده برای کنترل کننده مبتنی بر هوش عاطفی دارای دامنه کوچکی می باشد.



شکل (11): تغییرات فرکانس برای سه حالت در سیستم قدرت تک ناحیه ای به ازای تغییرات بار نوع 2



شکل (12): تغییرات توان توربین برای سه حالت به ازای تغییرات بار نوع 2



شکل (13): تغییرات توان باد برای سه حالت به ازای تغییرات بار نوع 2

کنترل فرکانس نیروگاه‌های بادی به روش‌های کنترلی دیگر به جای کنترل مبتنی بر هوش عاطفی و استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری پیشنهاد می‌شود.

تقدیر و تشکر

(۱) بدینوسیله از دکتر علی مرجانیان که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنم.

(۳) این مقاله از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مصوب و دفاع شده در دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایزه استخراج شده است. نویسنده بر خود لازم می‌داند مراتب تشکر صمیمانه خود را از مسئولان پژوهشی دانشکده برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایزه و هیئت‌دوران پایان‌نامه که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام کنند.

منابع

- Bhatti, T.S., Bansal, R.C., Kothari, D.P. (2012). "Reactive power control of isolated hybrid power systems", Inproc. Int. Conf. Computer Application Electrical Engineering Recent Advances, Roorkee, India, 626-632
- Chanandl, T.F., Loi, L. (2011). "Induction generator self-excited with a single capacitance and supplying a single-phase load", IEEE trans. Energy convers, 17: 90-94.
- Chhabra, S., Joshi, D. (2015). "Modeling and Analysis of Doubly Fed Induction Generators in Isolated Mode. International Journal of Electronics", Comput. Electr. Eng, 130: 134.
- Chitti, B., K.B.Mohanty, K.B. (2010). "Doubly-Fed Induction Generator for Variable Wind Energy Conversion Systems Modeling and simulation", IJECE, 2(1).
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., Blaabjerg, F. (2014). "Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology", Renewable Sustainable Energy Rev, 39: 748-764.
- European Wind Energy Association. (2012). Wind energy-the facts: a guide to the technology, economics and future of wind power. Routledge.
- Hu, J., Zhu, J., Dorrell, D. G. (2014). "Model-predictive direct power control of doubly-fed induction generators under unbalanced grid voltage conditions in wind energy applications. IET Renewable Power Generation, 8(6): 687-695.

در نتایج تحلیل نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی توانایی بالایی در مواجهه با انواع بارها را داراست و پاسخ‌های به مراتب بهتری در مقایسه با حالت بدون کنترل کننده از خود نشان می‌دهد. در مقایسه با کنترل کننده عصبی- فازی تطبیقی مورد استفاده در این سیستم در هر دو حالت تغییرات بار نیز از نظر انحراف فرکانسی در حالت ماندگار، پاسخ نسبتاً بهتری را نشان می‌دهد. همچنین از نظر تغییرات توان توربین و توان باد دارای تفاوت محسوسی نسبت به روش عصبی- فازی تطبیقی نمی‌باشد.

لذا می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روش پیشنهادی، در مجموع دارای عملکرد مناسب و قدرت قابل قبولی در کنترل فرکانس توربین بادی در شرایط تغییرات بارهای پلکانی و متغیر با زمان و خصوصاً در حالت ماندگار می‌باشد.

4 نتیجه‌گیری

یکی از مشکلاتی که نیروگاه‌های بادی دارند تغییرات توان خروجی در نتیجه تغییرات سرعت باد می‌باشد. به همین منظور کنترل فرکانس این نیروگاه‌ها بسیار اهمیت دارد. در این تحقیق سعی شد یک روش مبتنی بر کنترل هوش عاطفی که پارامترهای آن به نحو مناسبی تعیین گردید، معرفی گردد و به کمک آن فرکانس توربین‌های بادی مبتنی بر DFIG کنترل گردد. بنابراین در نرم‌افزار متلب به بررسی رفتار سیستم توربین بادی پرداخته شد. سیستم‌های تک ناحیه‌ای در سه حالت بدون کنترل کننده، کنترل کننده عصبی- فازی تطبیقی و کنترل کننده مبتنی بر هوش عاطفی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد، در حالتی که از کنترل کننده پیشنهادی استفاده می‌گردد، توربین‌ها رفتار به مراتب بهتری نسبت به حالت بدون کنترل دارند. در مقایسه با کنترل کننده عصبی- فازی تطبیقی نیز انحراف فرکانسی کمتری در حالت ماندگار ایجاد می‌گردد. لذا همانگونه که نمودارها نشان داد، محدوده تغییرات فرکانس در محدوده کمتر از 0/001 قرار داشت که نشان از قدرت بالای کنترل کننده پیشنهادی داشت



induction generator drive”, International Joint Conference.

Zhang, Z. (2016). The study of nonequilibrium dissipative quantum dynamics and applications to energy transport and quantum information processes, Doctoral dissertation, State University of New York at Stony Brook).

Zhang, Z. S., Sun, Y. Z., Lin, J., Li, G. J. (2012). “Coordinated frequency regulation by doubly fed induction generator-based wind power plants”, IET Renew. Power Gener, 6(1): 38-47.

[19] A novel standalone dual stator-winding induction generator with static excitation regulation, 2008.

[20] Modeling and experimental analysis of a self-excited six-phase induction generator for standalone renewable energy generation, 2014.

Jacobson, M. Z., Delucchi, M. A. (2011). “Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials”, Energy policy, 39(3): 1154-1169.

Jafari, E., Marjanian, A., Solaymani, S., Shahgholian, G. (2015). “Designing an Emotional Intelligent Controller for IPFC to Improve the Transient Stability Based on Energy Function”. J ElectrEngTechnol, 8(3): 478-489.

Movahednasab, A., Madani, S.M., Shahbazi, M.M. (2015). “Reduced order model and control for a wind turbine induction-generator” IEEEconf.

Movahednasab, A., Madani, S.M., Shahbazi, M.M. (2015). “Modeling of a squirrel cage induction generator”, IEEE conf.

Movahednasab, M., Madani, S.A., Shahbazi, M.M. (2008). “Modeling of a squirrel cage induction generator”, IEEE.

Reigosa, D. D., Briz, F., Blanco, C., Guerrero, J. M. (2014). “Sensorless control of doubly fed induction generators based on stator high-frequency signal injection”, IEEE Trans. Ind. Appl, 50(5): 3382-3391.

Shukla, R. D., Tripathi, R. K. (2015). “Isolated wind power supply system using double-fed induction generator for remote areas”, Energy Convers, 96: 473-489.

Sitti, M., Ceylan, H., Hu, W., Giltinan, J., Turan, M., Yim, S. and Diller, E. (2015). “Biomedical applications of untethered mobile milli/microbots”, Proceedings of the IEEE, 103(2): 205-224.

Surinkaew, T., Ngamroo, I. (2014). “Robust power oscillation damper design for DFIG-based wind turbine based on specified structure mixed H 2/H ∞ control”, Renew. Energ, 66: 15-24.

Tiwariandj, H.P., Diwedi, K. (2012). “Minimum capacitance requirement for self-excited induction generator”, Inproc.12thnat. Powersystem Conf., Kharagpur, India, 5-10.

Trifkovic, M., Sheikhzadeh, M., Nigim, K., Daoutidis, P. (2014). “Modeling and control of a renewable hybrid energy system with hydrogen storage”, IEEE Trans Control Syst Technol, 22(1): 169-179.

Yang, L., Xu, Z., Ostergaard, J., Dong, Z. Y., Wong, K. P. (2012). “Advanced control strategy of DFIG wind turbines for power system fault ride through”, IEEE Trans. Power Syst., 27(2): 713-722.

Yattana K., Watcharrin, S.W. (2015). “A simple voltage and frequency control of VSI-inverter-fed self-excited induction generator drive”, International Joint Conference.

Yattana, K., Watcharrin, S. (2014). “A simple voltage and frequency control of VSI-inverter-fed self-excited