

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



آموزش آنلاین با ابزار پژوهش کمی (کاربره نرم افزار SPSS)

کارگاه آنلاین کاربرد نرم افزار SPSS در پژوهش



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق شبکه های توجه گرافی (GAN)

مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



مقاله نویسی ISI (روزه علمی مهندسی)

کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی

تأثیر نقطه کار مزارع بادی بر دینامیک سیستم قدرت

ابوالفضل سلامی^۱، فرید آراسته^۲

دانشگاه صنعتی اراک، گروه برق قدرت
Salami@arakut.ac.ir

چکیده

در مزرعه های بادی از تکنولوژی ماشین های سرعت متغیر برای ارتقای کارایی ژنراتورهای برق استفاده می شود. ژنراتورهای القایی از دو سو تغذیه در زمره ماشین هایی هستند که در سطح گسترده به کار گرفته می شوند واز همین رو فاکتورهای پایداری آنها در عمل مورد آزمون و تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. استفاده از این تکنولوژی ها باعث می شود که نیاز به بررسی رفتار توربین های بادی تحت اغتشاشات و اختلالات مختلف در نقاط کار مختلف بالا رود. در این مقاله به بررسی و تحلیل پایداری در حضور یک اختلال کوچک و یک اختلال بزرگ در نقاط کار مختلف پرداخته شده است. هدف از این بررسی، تاثیر نقاط کار مزارع بادی بر مشخصات دینامیکی می باشد، شبیه سازی های انجام شده با استفاده از نرم افزار MATLAB انجام شده است.

واژه های کلیدی: نیروگاه بادی، ژنراتور القایی دو سو تغذیه، پایداری گذرا، خطا

- ۱- دکترای برق قدرت، عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اراک
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد برق قدرت، دانشگاه علوم و تحقیقات اراک

۱- مقدمه

در جهان امروز انرژی به عنوان یکی از مهمترین فاکتورهای لازم برای توسعه به شمار می رود. در این میان افزایش قیمت نفت، مشکل روند گرمایش زمین، آلودگی های ناشی از مصرف سوخت های فسیلی، تمام شدنی بودن سوخت های

فسیلی در آینده‌ای نه چندان دور و مسئله امنیت انرژی و ... همه و همه باعث رویکرد بشر به منابع جدید و تجدید پذیر انرژی شده است. در این میان انرژی باد به عنوان یک منبع تجدیدپذیر، پاک، ارزان و دارای پتانسیل بسیار زیاد مورد توجه قرار گرفته است. بر طبق تخمین ها سالانه ۱۰ میلیون مگاوات انرژی در بادهای کره زمین وجود دارد [1,2].

در نیروگاه های بادی از تکنولوژی ماشین های سرعت متغیر برای ارتقای کارایی ژنراتورهای برق استفاده می شود. ژنراتورهای القایی از دو سو تغذیه در زمره ماشین هایی هستند که در سطح گسترده به کار گرفته می شوند واز همین رو فاکتورهای پایداری آنها در عمل مورد آزمون و تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. در این مقاله به بررسی و تحلیل پایداری در حضور یک اختلال کوچک و یک اختلال بزرگ در نقاط کار مختلف پرداخته شده است. هدف از این بررسی، مقایسه مشخصات دینامیکی مزرعه های بادی که در آنها از تکنولوژی فوق الذکر استفاده شده می باشد. در همین راستا از مدلی همراه با جزئیات از یک توربین بادی و طرح های کنترلی مربوط به آن برای شبیه سازی ژنراتورهای به کار گرفته شده در یک مزرعه بادی در ابعاد واقعی استفاده شده است. فن آوری کنترل پیشرفته می تواند به بهبود عملکرد توربین کمک کرده و در نتیجه باعث طول عمر آن شود [3].

توربین های بادی بیانگر بالاترین حد تکنولوژی در تولید انرژی الکتریکی تجدید پذیر می باشند. در ده های اخیر راه حل های مختلفی با هدف دست یابی به انرژی بادی در حد مطلوب به کار گرفته شده است. به دلیل تغییرات سرعت باد از تکنولوژی توربین های با سرعت متفاوت استفاده می شود. به طور مشخص در این زمینه می توان ژنراتورهای القایی از دو سو تغذیه (DFIG) و ژنراتورهای سنکرون مجهز به کانورتور را نام برد [4].

۲- تشریح روابط ریاضی و معادلات حاکم

از فیزیک به یاد داریم که انرژی جنبشی عبارت است از [5]:

$$K = \frac{1}{2} mV^2 \quad (1)$$

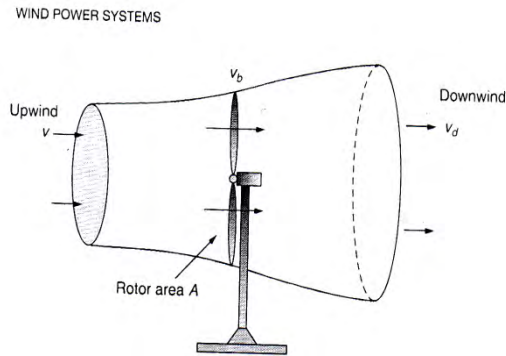
شکل (۱) را در نظر بگیرید، فرض کنیم این شکل هوای ورودی و خروجی از یک توربین را نشان می دهد. همچنین فرض کنیم هوای ورودی تراکم ناپذیر ، یکنواخت و در حالت مانا باشد. اگر از اصطکاک صرفنظر کنیم و فرض کنیم تعداد تیغه های روتور نامتناهی باشد، توان یک ستون استوانه ای باد که از سطح مقطع A مترمربع با سرعت V متر بر ثانیه عبور می کند عبارتست از:

$$P = \frac{1}{2} (\text{mass flow per sec}) V^2 = \frac{1}{2} (\rho AV)V^2 = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad (2)$$

در معادله فوق ، ρ چگالی هوا بر حسب Kg/m^3 و A سطح مقطع جاروب شده توسط پره های توربین است .

یک توربین باد نمی تواند تمام توان باد را دریافت کند زیرا این بدین معنی است که باد بعد از توربین باید سرعت صفر داشته باشد. اگر سرعت باد را قبل از ورود به توربین V_0 و سرعت آن را درست بعد از عبور از توربین V_2 در نظر بگیریم (شکل ۱) نیروی وارد بر توربین تفاوت اندازه حرکت ها است.

$$F = mV_0 - mV_2 \quad (3)$$



شکل ۱: باد در حال ورود به توربین و خروج از توربین [6]

در نتیجه توان حاصل از باد در توربین بادی عبارتست از:

$$P = FV_1 = m(V_0 - V_2)V_1 \quad (۴)$$

از طرفی توان دریافت شده توسط توربین عبارتست از اختلاف انرژی جنبشی بین دو جریان هوای قبل از توربین و پس از توربین، یعنی:

$$P = \frac{1}{2} m (V_0^2 - V_2^2) \quad (۵)$$

از برابر قرار دادن معادلات (۴-۳) و (۵-۳) داریم:

$$V_1 = \frac{1}{2} (V_0 + V_2) \quad (۶)$$

گفتیم که $m = \rho AV$ لذا از قرار دادن این عبارت در رابطه (۴) خواهیم داشت:

$$P = \rho A_1 V_1^2 (V_0 - V_2) \quad (۷)$$

از طرفی با جایگزین کردن V_2 داریم:

$$P = C_P P_0 \quad (۸)$$

که در آن:

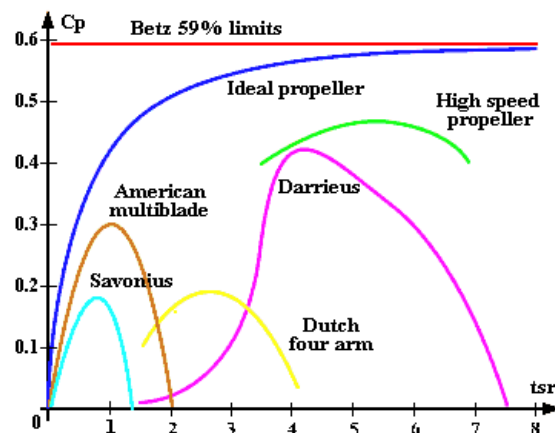
$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A_1 V_0^3 \quad (۹)$$

$$C_P = 4a(1-a)^2 \quad (۱۰)$$

$$a = \frac{(V_0 - V_2)}{2V_0} \quad (۱۱)$$

C_P به عنوان ضریب توان تعریف می شود و نمایانگر درصدی از توان است که از باد گرفته می شود.
 a را به عنوان ضریب تداخل تعریف می کنند.

حداکثر مقدار C_p می تواند ۰/۵۹ باشد (این مقدار معیار بتز^۱ نامیده می شود) و این به این معنی است که در ایده آل ترین حالت تنها ۰/۵۹ از انرژی باد را می توانیم برداشت کنیم.



شکل ۲: تغییرات ضریب قدرت در توربین های باد
 مختلف [2,5]

تغییرات ضریب قدرت بر حسب λ (TSR)^۲ برای توربینهای مختلف در شکل (۲) نشان داده شده است که در تمام آنها ماکسیمم ضریب قدرت ۰/۵۹ دیده می شود. بنابراین حداکثر مقدار توان توربین عبارتست از:

$$P_{max} = \frac{1}{2} \rho A_1 V_0^3 (0.59) \quad (12)$$

اما در عمل برای توربینهای مدرن و سریع و دو پره ای امروزی C_p بین ۰/۴ و ۰/۵ و برای توربینهای کندتر و با پره های بیشتر C_p بین ۰/۲ تا ۰/۴ است. اگر فرض کنیم حداکثر مقدار C_p ، ۰/۵ باشد آنگاه حداکثر توان توربین در واحد سطح برابر است با:

$$P_{max} = \frac{1}{4} \rho V_0^3 \quad (13)$$

یکی دیگر از پارامترهایی که در توان توربینها تأثیر داشت چگالی هوا بود. توان باد به صورت خطی با چگالی بادی که پره ها جاروب می کنند نسبت مستقیم دارد. بر طبق قانون گازها چگالی هوا با رابطه زیر تغییر می کند.

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (14)$$

که همان طور که می دانیم ρ فشار هوا ، R ثابت گاز ها و T دمای مطلق است .

چگالی هوا در سطح دریا در فشار ۱ اتمسفر و دمای ۶۰ درجه فارنهایت 1.225 Kg/m^3 است. فشار و دما با تغییر ارتفاع ، تغییر می کنند و رابطه زیر ، چگالی هوا را در ارتفاعهای مختلف (تا ۶۰۰۰ متر) به دست می دهد.

$$\rho = \rho_0 e^{\frac{-0.297 H_m}{3048}} \quad (15)$$

H_m ارتفاع سایت از سطح دریاست، دمای هوا نیز با افزایش ارتفاع تغییر می کند.

¹ Betz criterion
² Tip Speed Ratio

۳- نمونه مورد بررسی

در این مقاله مدل های ریاضی برای توربین های بادی که بر اساس تکنولوژی DFIG طراحی شده مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی انجام شده در یک مزرعه بادی شامل ۱۴ ژنراتور برای ارزیابی تاثیر اختلالات کوچک و بزرگ بر روی رفتار و عملکرد مزرعه بادی تحت شرایط وزش باد مختلف انجام شده است.

داده های مقاله و اطلاعات مدار مربوط به نیروگاه بادی جهت بررسی رفتار دینامیکی به شرح زیر می باشد:

- تعداد توربین های بادی: ۱۴
- سرعت نامی باد : ۱۲,۵ متر بر ثانیه
- ولتاژ نامی : ۱ کیلو ولت
- تعداد پره هر توربین : ۳ پره روتور با شعاع ۴۴ متر
- قدرت نامی : ۳ مگا وات
- داده های بهره برداری برای توربین های DFIG عبارت اند از :

جدول ۱: داده های بهره برداری برای توربین های بادی

واحد	مقدار	کمیت	واحد	مقدار	کمیت
S	۳	H	p.u.	۰,۰۰۸۸	R _s
p.u.	۱۰	k _p	p.u.	۰,۰۰۴۴	R _r
S	۳	T _p	p.u.	۰,۰۵۴۷	X _s
S	۰,۰۱	T _e	p.u.	۰,۰۹۶۳	X _r
p.u.	۱۰	k _v	p.u.	۲,۷۵	X _m

- فاصله بین توربین های موجود بر روی یک فیدر از یکدیگر : ۵۰۰ متر

- هر توربین به یک ترانسفور ماتور ۱kv/۳۰kv و سیستم پست دارای ترانسفورماتور ۳۰kv/۱۵۰kv بوده که به طول خط ۱۰ کیلومتر به شبکه قدرت اصلی متصل گردیده و کل توان تولیدی نیروگاه یا مزرعه مورد نظر ما به یک باس بی نهایت Slack با ترانسفورماتور ۱۵۰kv/۳۸۰kv متصل شده است که مشخصات ترانسفور ماتور های مورد استفاده به شکل زیر می باشد:

جدول ۲: مشخصات ترانسفور ماتور های مورد استفاده

ولتاژ نامی	توان نامی (MVA)	R[p.u.]	X[p.u.]
kV۳۰-kV/۱	۳,۲	۰,۰۰۴	۰,۰۸
kV۱۵۰-kV/۳۰	۵۰	۰,۰۰۵	۰,۱۰
kV۳۸۰-kV/۱۵۰	۴۰۰	۰,۰۱	۰,۲۰

جدول ۳: مشخصات کابل های مورد استفاده

ولتاژ نامی	S [mm ²]	R [Ω/km]	L [mH/km]	C [nF/km]	Rating [A]
kV۳۰	۹۵	۰,۱۹۳	۰,۴۳	۰,۱۷	۳۰۰
kV۳۰	۱۵۰	۰,۱۲۴	۰,۴۰	۰,۲۰	۳۷۵
kV۱۵۰	۵۰۰	۰,۰۳۶۶	۰,۴۰	۰,۱۷	۵۴۰

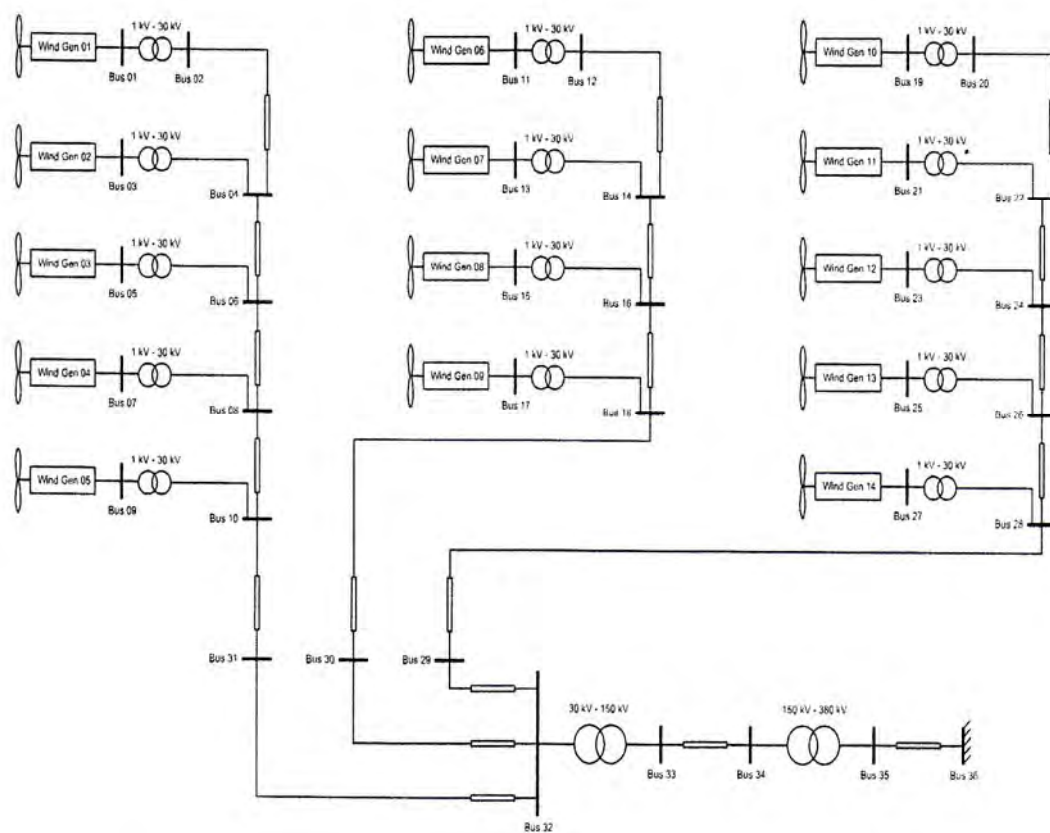
- باس PV : باس هایی که با انرژی بادی تغذیه می شوند که همان باس کنترل ولتاژ ژنراتور می باشند و ولتاژ ثابت آن بر روی ۱ کیلو ولت تنظیم میگردد.

- مبنای سطح تولید توان ۱۰۰ مگا ولت آمپر در نظر گرفته شده است.

درواقع باتوجه به بررسی رفتار دینامیکی نیروگاه بادی مورد نظر باید در سه حالت کاری توان تولیدی یعنی ۰.۸، ۰.۴ و ۰.۲٪ سطح تولید هر ژنراتور شبیه سازی شود پس برای این منظور ابتدا ۳ مدار که از نظر شکل یکسان می باشند را رسم نموده و برای تعیین سطح تولید هر ژنراتور در سه حالت گفته شده باید در هر حالت (هر یک از مدارها) باس PV هر ژنراتور را به شکل زیر تنظیم نمود:

حالت اول : ۰.۸٪ سطح تولید ← که در این حالت در تنظیمات باس PV مقدار مربوط به Active Power را ۰.۸ قرار میدهیم.
حالت دوم : ۰.۴٪ سطح تولید ← که در این حالت در تنظیمات باس PV مقدار مربوط به Active Power را ۰.۴ قرار میدهیم.
حالت سوم : ۰.۲٪ سطح تولید ← که در این حالت در تنظیمات باس PV مقدار مربوط به Active Power را ۰.۲ قرار میدهیم.

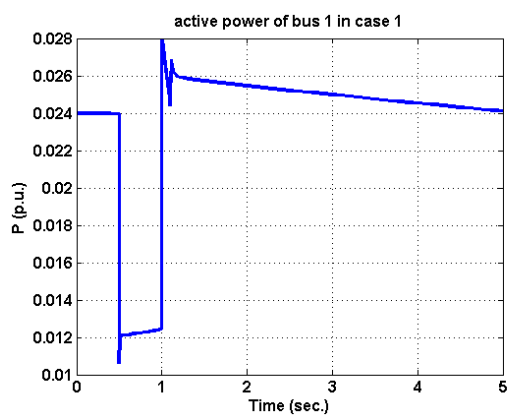
یعنی مثلا در مدار اول که مربوط به حالت اول میباشد باید تمام ژنراتور ها در ۰.۸٪ سطح تولید کار کنند.



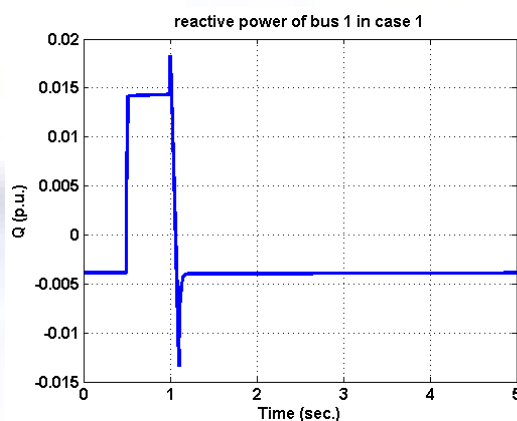
شکل ۳: طرح مداری مزرعه بادی مورد مطالعه [1]

۴ - بررسی حالت پایداری گذرا در باس های مورد نظر پس از اجرای کامل برنامه :

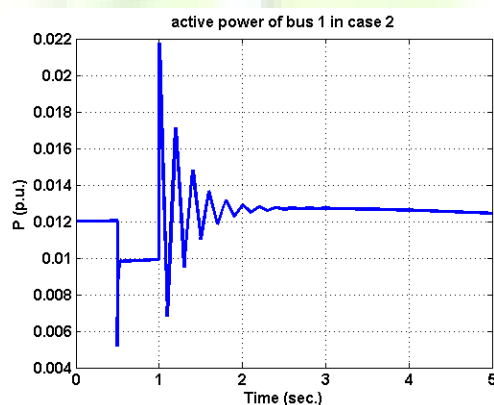
سرانجام پس از اجرا کردن برنامه برای ۳ حالت ذکر شده نمودار توان اکتیو و راکتیو به صورت شکل‌های زیر خواهد بود :



شکل ۴ : توان اکتیو باس ۱ در حالت اول



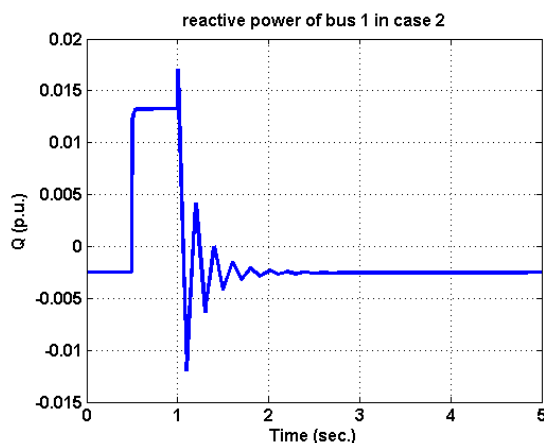
شکل ۵ : توان راکتیو باس ۱ در حالت اول



شکل ۶ : توان اکتیو باس ۱ در حالت دوم

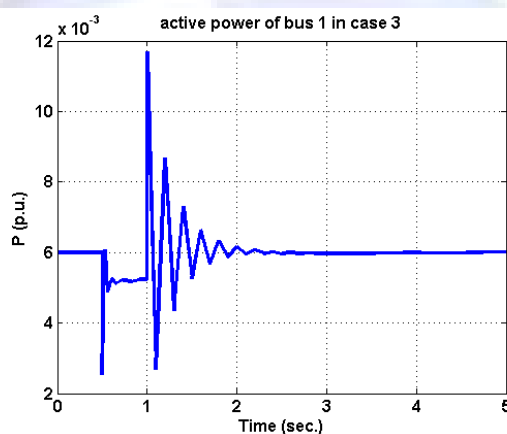
همانطور که در شکل‌های (۴) و (۵) دیده می‌شود در حالتی که مقدار تولید 0.8% و توان اکتیو 0.024 پریونیت می‌باشد که 0.5 ثانیه بعد از رخ دادن خطا به شدت به مقدار 0.011 پریونیت افت می‌کند و در 0.5 ثانیه دوم جهشی به اندازه 0.028 پریونیت اتفاق می‌افتد و این میزان بعد از یک نوسان و در حدود 5 ثانیه پایدار شده و به مقدار اولیه باز می‌گردد.

حالی که در توان راکتیو دامنه تغییرات در زمان بروز خطا در حدود 0.035 پریونیت می باشد که بعد از گذشت مدت زمان 0.5 ثانیه پایدار می شود.

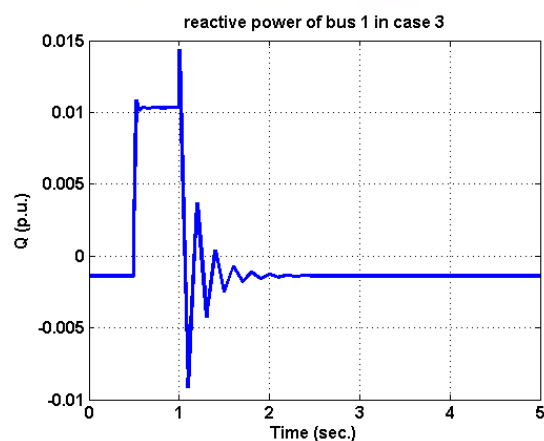


شکل ۷: توان راکتیو باس ۱ در حالت دوم

در حالت دوم که ژنراتورها در 40% توان را تولید می کنند یعنی در شکل (۶) و (۷) دیده می شود که میزان توان تولیدی اکتیو از حالت اول کمتر می باشد و حدود نصف حالت اول می باشد (0.12 پریونیت) توربین بادی در هنگام خطا بعد از 5 نوسان و در حدود 2.5 ثانیه پایدار می شود. توان راکتیو که -0.025 می باشد در حدود 0.5 ثانیه جهشی به اندازه 0.12 پریونیت داشته و در ثانیه اول این توان تا -0.12 افت میکند و بعد از حدود 4 نوسان و گذشت 2.5 ثانیه به مقدار اولیه خود باز می گردد.



شکل ۸: توان اکتیو باس ۱ در حالت سوم



شکل ۹: توان راکتیو باس ۱ در حالت سوم

در حالت سوم نیز که میزان توان تولیدی از حالت‌های قبل کمتر می‌باشد و ۲۰٪ بازده می‌باشد توربین بادی در هنگام خطا توان اکتیو ۰,۰۰۶ پریونیت را تولید می‌کند که در لحظه بروز خطا تا مدت زمان ۰,۵ ثانیه بدون تغییر مانده و از ثانیه ۰,۵ تا ثانیه ۲ با نوسانات بیشتری و در زمان کمتر از ۲ ثانیه پایدار می‌شود. اما توان راکتیو قبل از وقوع خطا در حدود ۰,۰۰۱- بوده که در لحظه وقوع خطا تا مدت زمان ۰,۵ ثانیه ثابت مانده سپس جهشی به اندازه ۰,۰۱ پریونیت اتفاق می‌افتد و بعد از ۵ نوسان در مدت زمان کمتر از ۲ ثانیه پایدار می‌شود.

با توجه به نتایج بدست آمده و نمودارهای توان اکتیو و راکتیو در باس شماره یک، در سه حالت بازده کاری ژنراتور ها، هر چه مقدار تولید توربین های بادی بیشتر باشد نوسانات توربین بادی کمتر می‌باشد ولی میزان جهش اولیه آن بیشتر از حالتی می‌باشد که توربین توان کمتری به سیستم تحویل می‌دهد، بنابراین در هنگامی که میزان تولید توربین بادی زیاد باشد در هنگام وقوع خطا احتمال ناپایداری آن نیز افزایش می‌یابد اما اگر ناپایدار نشد به سرعت میرا می‌گردد.

۵- نتیجه گیری :

در این مقاله رفتار دینامیکی توربین بادی سرعت متغییر متصل به شبکه قدرت در زمان بروز خطا با توجه به میزان توان اکتیو و راکتیوی تزریقی برای پایداری سیستم مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

باتوجه به نتایج به دست آمده هر چه مقدار تولید توربین های بادی بیشتر باشد دینامیک سیستم قدرت نیز بهتر می‌گردد و زودتر به حالت پایداری می‌رسد و نوسانات کمتری خواهد داشت. پیشنهاد می‌شود که در کارهای آینده، برای بهبود پایداری گذرای توربین های بادی، در نقاط کار با توان پایین، مطالعاتی صورت گیرد و با تعبیه تجهیزات کنترلی و یا ادوات FACTS در سیستم، پایداری گذرای توربین های بادی ای که در نقطه کار با توان پایین کار می‌کنند در حین وقوع خطا قابل قبول باشد.

مراجع :

- [1] M. Dicorato, G. Forte and M. Trovato, "Wind farm stability analysis in the presence of variable-speed generators" Politecnico di Bari, DEE - Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica, via E. Orabona 4, 70125 Bari, Italy, pp. 40-47, 2011.
- [2] G.M. Joselin Herbert, S. Iniyan, E. Sreevalsan and S.Rajapandian, "A review of wind energy technologies", 25 August 2005
- [3] Lucy Y. Pao and Katherine. Johnson, "Control of Wind Turbine" IEEE control magazine system, April 2011
- [4] J.G Sloopweg, H Polinder, W.L Kling, "Dynamic Modelling of a Wind Turbine with Doubly Fed Induction Generator" Power Engineering Society Summer Meeting, Vol.1, pp :644 – 649
- [5] A. W. Manyonge, R. M. Ochieng, F. N. Onyango, and J. M. Shichikha, "Mathematical Modelling of Wind Turbine in a Wind Energy Conversion System" Vol. 6, 2012, no. 91, 4527- 4536
- [6] Gilbert M. Masters, "Renewable and Efficient Electric Power Systems" Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, ISBN 0-471-28060-7 ^ 2004
- [7] Neeraj Mittal, "Investigation of Performance Characteristics of a Novel VAWT" M.Sc. Energy Systems and The Environment University of Strathclyde, Glasgow M.Sc. (Energy Systems and The Environment), September 2001
- [8] نعمت مشتاقیان، علیرضا قهرمانی و مهران رابطیان "بررسی و تحلیل رفتار دینامیکی ژنراتور القایی تغذیه دو سویه توربین بادی (DFIG-WT) متصل به شبکه قدرت به هنگام بروز خطا" چهارمین کنفرانس نیروگاه های برق، ایران ۱۳۸۹



SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



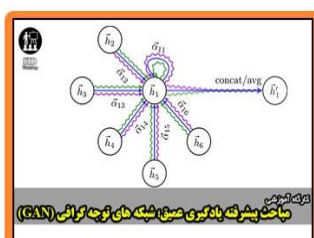
فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



آموزش آنلاین ابزار پژوهش کمی (کاربره نرم افزار SPSS)

کارگاه آنلاین کاربرد نرم افزار SPSS در پژوهش



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق شبکه های توجه گرافی (GAN)

مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



مقاله نویسی ISI (روزه علمی مهندسی)

کارگاه آنلاین مقاله نویسی ISI و IEEE و ویژه فنی و مهندسی