

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



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



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از
وب آو ساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی

نقش نیروگاه‌های بادی در پایداری گذرای شبکه

همایون برهمندپور، سیما کمانکش، سعید سلیمی، حمید دانایی، محمد جعفریان

پژوهشگاه نیرو - گروه مطالعات سیستم

تهران - ایران

hberahmandpour@nri.ac.ir, skamankesh@nri.ac.ir, ssalimi@nri.ac.ir, hdanaei@nri.ac.ac, mjafarian@nri.ac.ir

چکیده

مشخصات الکتریکی و رفتار ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه کاملاً با ژنراتورهای سنکرون متعارف، متفاوت است. لذا ورود مزارع بادی به شبکه که غالباً دارای این ژنراتور هستند، چالش‌های بسیاری برای سیستم قدرت به همراه دارد. یکی از مهم‌ترین این چالش‌ها، رفتار دینامیکی ژنراتورهای القایی متصل به شبکه و تاثیر آنها بر شبکه می‌باشد. در این مقاله مقایسه‌ای تحلیلی بین رفتار دینامیک ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه که هم‌اینک در نیروگاه‌های بادی متداول است و ژنراتور سنکرون موجود در نیروگاه‌های متعارف، در هنگام بروز خطا انجام می‌شود. جهت مقایسه سطح پایداری گذرای این ژنراتورها، از شاخص "زمان بحرانی رفع خطا" استفاده شده است. همچنین عملکرد دینامیکی این ژنراتورها در زمان بروز خطا و پس از آن، با انجام شبیه‌سازی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی - نیروگاه بادی، ژنراتور القایی، SCIG، ژنراتور القایی، DFIG، تحلیل پایداری گذرا، حد پایداری گذرا، رفتار دینامیک

۱. مقدمه

رشد روزافزون انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه برق، خصوصاً انرژی بادی طی سالیان اخیر، ترکیب جدیدی را برای واحدهای تولیدی ایجاد کرده است. واحدهای تولیدی نیروگاه‌های بادی که دارای ژنراتور القایی و متمایز با نیروگاه‌های متعارف حرارتی و آبی می‌باشند، رفتار متفاوت و منحصر به فردی را برای این واحدها در حالات استاتیک و دینامیک ایجاد کرده و برهم کش این رفتار بر رفتار نیروگاه‌های متعارف، پاسخ جدیدی را برای شبکه

قدرت در مقابل اختلالات ایجاد می‌کند. هرچه ضریب نفوذ نیروگاه‌های بادی افزایش یابد و در کنار آن ظرفیت تولیدی این نیروگاه‌ها بالا رود، این موضوع از اهمیت بیشتری برخوردار می‌گردد. [۱]

به همین دلیل است که در حال حاضر بخش عمده‌ای از مطالعات

سیستم قدرت به همراه نیروگاه‌های تجدیدپذیر متوجه بررسی نقش نیروگاه‌های بادی در شبکه قدرت و اثرات متقابل نیروگاه و شبکه می‌باشد. یکی از مهم‌ترین این مقولات، پایداری گذرا است.

کشور ما نیز در شیب اولیه و نسبتاً زیاد توسعه نیروگاه‌های بادی در شبکه قرار دارد و به همین خاطر لازم است در کنار ایجاد بستر مناسب برای سرمایه‌گذاری و نصب و راه‌اندازی واحدهای بادی، مطالعات لازم برای تعیین نقش و تاثیر آنها در شبکه قدرت نیز صورت پذیرد.

در مرجع [۱] مزارع بادی با دو نوع ژنراتور القایی قفس سنجابی (SCIG) و تغذیه دوگانه (DFIG) مورد نظر قرار داده شده و اثر آنها در پایداری گذرای شبکه بررسی شده است. در این مرجع نشان داده شده است که نمی‌توان اظهار نظر قطعی در مورد بهبود یا تضعیف پایداری گذرای شبکه با وجود مزارع بادی داشت و این امر به محل اتصال مزرعه بادی به شبکه بستگی دارد. لکن در این مرجع نشان داده شده است که وضعیت پایداری گذرای شبکه در صورت اتصال مزارع بادی DFIG به شبکه نسبت به اتصال مزارع بادی SCIG، بهبود قابل توجهی دارد. همچنین در این مرجع تأثیر افزایش ضریب نفوذ مزارع بادی در شبکه نیز بررسی شده و نشان داده شده است که ضریب نفوذ بالاتر از حد مشخصی برای هر شبکه می‌تواند منجر به افزایش خطرپذیری ناپایداری شبکه شود.

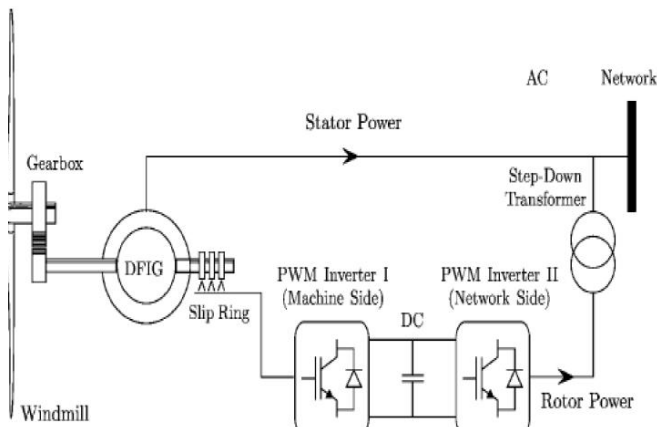
در مرجع [۲] پایداری گذرای شبکه قدرت با در نظر گرفتن اتصال مزرعه بادی با توان بالا به شبکه ارزیابی شده است. در این مرجع در ابتدا وضعیت پایداری شبکه بدون حضور مزارع بادی، با اعمال خطای سه فاز در

نشده است. مبنای بررسی سطح پایداری گذرای این دو نوع ژنراتور، شاخص "زمان بحرانی رفع خطا" می‌باشد.

در ادامه مقاله، ابتدا نحوه مدل‌سازی دینامیک توربین بادی DFIG به اختصار ارائه شده است. سپس به بررسی خصوصیات ذاتی ژنراتور القایی در تحلیل پایداری گذرا پرداخته شده است. پس از آن شبیه‌سازی و تحلیل سناریوهای مورد نظر انجام شده و در پایان نتیجه‌گیری ارائه شده است. لازم به ذکر است در تمامی تحلیل‌ها از ژنراتور SCIG در کنار ژنراتور DFIG به عنوان مقایسه‌ای بین این دو، استفاده شده است. لکن تاکید بر ژنراتور DFIG است

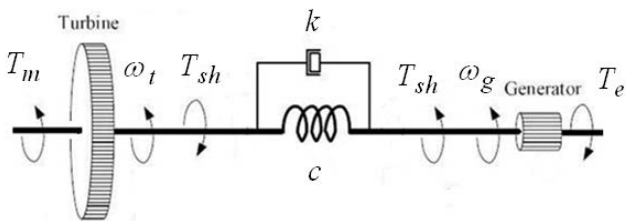
۲. مدل دینامیک ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه

شکل (۱) شمای کلی ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه را به همراه اتصال به شبکه نشان می‌دهد:



شکل ۱: ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه متصل به شبکه

یکی از تفاوت‌های اساسی مدل دینامیک ژنراتور DFIG با ژنراتور سنکرون، مدل مکانیکی آن است. در این ژنراتور به دلیل وجود مبدل سرعت مکانیکی بین توربین و ژنراتور (گیربکس)، لازم است از مدل دو محوری برای بیان رفتار دینامیک محور روتور استفاده شود (شکل (۲)) [۶].



شکل ۲: مدل مکانیکی ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه

شینه‌های مختلف بررسی شده و شینه متناظر با وقوع بدترین شرایط خطا در شبکه مشخص شده است. سپس همین خطا در دو حالت مختلف جایگزینی یک و دو ژنراتور سنکرون با مزارع بادی به شبکه اعمال شده و نتایج آن ارائه شده است. نتایج ارائه شده در این مرجع نشان‌دهنده آن است که پایداری گذرای شبکه با جایگزینی یک ژنراتور سنکرون توسط مزرعه بادی می‌تواند تا حدی بهبود یابد. همچنین نشان داده شده است که با اتصال دو مزرعه بادی به شبکه، پایداری گذرا بهبود قابل توجهی دارد.

در مرجع [۳] مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه تاثیر ضریب نفوذ بالای مزارع بادی DFIG بر پایداری گذرای شبکه انجام شده است. در این مرجع ضمن تحلیل رفتار توربین بادی DFIG در حین خطا و پس از رفع خطا، مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر پایداری گذرای شبکه تنظیمات سیستم حفاظتی مزرعه بادی ذکر شده است و عواملی نظیر مدت‌زمان خطا و یا مشخصات مکانیکی توربین بادی به‌عنوان عوامل با تاثیر کم نام برده شده‌اند.

در مرجع [۴] نیز مطالعه مقایسه‌ای بین ژنراتور سنکرون و مزرعه بادی DFIG انجام شده است. در این مرجع نیز نشان داده شده است که با وجود مزرعه بادی DFIG، پایداری گذرای شبکه بهبود یافته است. همچنین در این مرجع نشان داده شده است که چنانچه مزرعه بادی DFIG در حالت کنترل ولتاژ مورد بهره‌برداری قرار داده شده باشد، میزان این بهبودی بهتر است. در [۵] یک روش محاسباتی جهت ارزیابی پایداری گذرای توربین بادی SCIG ارائه شده است و با استفاده از تاثیر پارامترهای مختلف ژنراتور SCIG بر پایداری گذرا و همچنین تاثیر پارامترهای شبکه نظیر طول خط متصل‌کننده مزرعه بادی به شبکه، میزان جبران‌سازی توان راکتیو، میزان بار محلی و سطح ولتاژ پست در پایداری گذرا بررسی شده است. لکن این روش برای شبکه با چند مزرعه بادی SCIG قابل پیاده‌سازی نمی‌باشد. همچنین استفاده از این روش برای انواع دیگر مزارع بادی مانند DFIG بسیار پیچیده بوده و در عمل ناممکن است.

در این مقاله مقایسه‌ای تحلیلی بین رفتار دینامیک ژنراتور سنکرون موجود در نیروگاه‌های متعارف و ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه (DFIG) که هم‌اینک در نیروگاههای بادی متداول است، انجام پذیرفته است. وجه تمایز این مقاله با سایر مراجعی که در این زمینه ارائه شده است، بررسی پایداری گذرا در شینه ژنراتور سنکرون و یا ژنراتور القایی می‌باشد. به عبارت دیگر آنچه در این مقاله مورد توجه قرار گرفته، تفاوت بین رفتار دینامیکی ژنراتور سنکرون و ژنراتور القایی است که در سایر مراجع به آن پرداخته

همانگونه که مشاهده می‌شود، معادلات دیفرانسیل مبین رفتار دینامیک ماشین شامل سه معادله مکانیکی و چهار معادله الکتریکی است. لازم به ذکر است برای تبدیل معادلات الکتریکی ژنراتور DFIG به ژنراتور SCIG، کافی است در روابط بالا، v_{dr} و v_{qr} برابر صفر گردند.

۳. خصوصیات ذاتی ژنراتور القایی در پایداری گذرا

مهمترین عامل در از دست دادن پایداری گذرا در شبکه در بروز اتصال کوتاه، عدم توازن توان مکانیکی تحویلی به توربین - ژنراتور و توان الکتریکی تحویلی به شبکه از سوی ژنراتور است که باعث شتابگیری مجموعه توربین و ژنراتور و در نتیجه ناپایداری می‌گردد. در ژنراتور القایی (در هر دو حالت قفس سنجابی و تغذیه دوگانه)، با بروز اتصال کوتاه، شار استاتور و روتور کاهش یافته و در نتیجه توان الکتریکی کاهش می‌یابد [۳]. این خود باعث شتابگیری مجموعه توربین و ژنراتور می‌گردد. همچنین برای ژنراتور DFIG اگر افت ولتاژ پایانه ماشین در حین بروز خطا زیاد باشد، جهت جلوگیری از صدمه دیدن مبدل تغذیه‌کننده روتور، روتور ماشین توسط مقاومت کروبار اتصال کوتاه شده و مبدل توسط این مقاومت، کنارگذر شده و از مدار خارج می‌شود. بنابراین ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه به ژنراتور القایی با سیم‌بندی روتور اتصال کوتاه شده تبدیل می‌شود. این موضوع باعث می‌شود در حالت پس از خطا و بازیابی ولتاژ، توان راکتیو نسبتاً زیادی توسط ژنراتور از شبکه جذب شود که این امر به نوبه خود باعث افت ولتاژ بیشتر در پایانه ژنراتور شده و زمان بازیابی ولتاژ پس از رفع خطا را بالا می‌برد.

از دیگر نکاتی که در مقایسه ژنراتور القایی با ژنراتور سنکرون از منظر پایداری گذرا وجود دارد، ثابت اینرسی به نسبت پایین آن در مقایسه با ژنراتور سنکرون است. این امر باعث می‌شود در توان‌های تزریقی برابر این دو ژنراتور، ژنراتور القایی در مقابل عدم توازن توان مکانیکی و الکتریکی در حین خطا، سریع‌تر شتاب گیرد که خود یک عامل منفی در پایداری گذرا است.

بر اساس آنچه که در بیشتر مراجع ذکر می‌شود، هر چند نمی‌توان اثر مثبت یا منفی ژنراتور القایی در پایداری گذرا را به یقین و در تمامی موارد تصریح کرد، لکن به هر حال با توجه به خصوصیات ویژه این ژنراتور، لازم است برای حالت‌های مختلف اتصال این ژنراتور به شبکه، پایداری گذرا تحلیل و ارزیابی سطح پایداری گذرا انجام شود.

بر خلاف ژنراتور سنکرون که در آن تنها معادله تاب ژنراتور، مبین رفتار مکانیکی آن است، در اینجا چهار معادله شامل سه معادله دیفرانسیل و یک معادله جبری، رفتار مکانیکی محور ژنراتور را مدل می‌کنند.

$$\frac{d\bar{\omega}_t}{dt} = \frac{1}{2H_t} (\bar{T}_m - \bar{T}_{sh}) = \frac{1}{2H_t} \left(\frac{\bar{P}_m}{\bar{\omega}_t} - \bar{T}_{sh} \right) \quad (1)$$

$$\frac{d\bar{\omega}_g}{dt} = \frac{1}{2H_g} (\bar{T}_{sh} - \bar{T}_e) \quad (2)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_s (\bar{\omega}_t - \bar{\omega}_g) \quad (3)$$

$$\bar{T}_{sh} = k\theta + c\omega_s (\bar{\omega}_t - \bar{\omega}_g) \quad (4)$$

P_m توان مکانیکی تولیدی توسط باد، ω_s سرعت سنکرون و H_t و H_g نیز ثوابت اینرسی به ترتیب توربین و ژنراتور می‌باشند. سایر پارامترهای موجود در روابط، در شکل (۲) معرفی شده‌اند.

مدل الکتریکی ژنراتور DFIG، مشابه سایر ماشین‌های الکتریکی در

قاب مرجع dq بیان می‌شود.

$$v_{qs} = -r_s i_{qs} + \omega_s (\psi_{ds}) + \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \psi_{qs} \quad (5)$$

$$v_{ds} = -r_s i_{ds} - \omega_s (\psi_{qs}) + \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \psi_{ds} \quad (6)$$

$$v_{qr} = -r_r i_{qr} + (\omega_s - \omega_r) (\psi_{dr}) + \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \psi_{qr} \quad (7)$$

$$v_{dr} = -r_r i_{dr} - (\omega_s - \omega_r) (\psi_{qr}) + \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \psi_{dr} \quad (8)$$

در این معادلات v ، R ، i و ψ به ترتیب نمایانگر ولتاژ، مقاومت،

جریان و شار هستند. ω_s سرعت گردش شار استاتور، ω_r سرعت گردش

روتور ژنراتور و ω_b سرعت گردش مبنا (برابر با $2\pi \times 50$ یا $2\pi \times 60$

رادیان بر ثانیه) می‌باشند. اندیس‌های s ، r ، d و q نیز به ترتیب

نمایانگر کمیت‌های مربوط به استاتور، روتور، محور d و محور q می‌باشند.

سرعت گردش شار استاتور ثابت فرض می‌شود و لذا در این معادلات ω_s

برابر با یک پریونیت است. ω_r با در نظر گرفتن معادلات مربوط به قسمت

محرکه توربین تعیین می‌شود. توان‌های اکتیو و راکتیو خروجی ژنراتور نیز

توسط روابط (۹) و (۱۰) قابل محاسبه است.

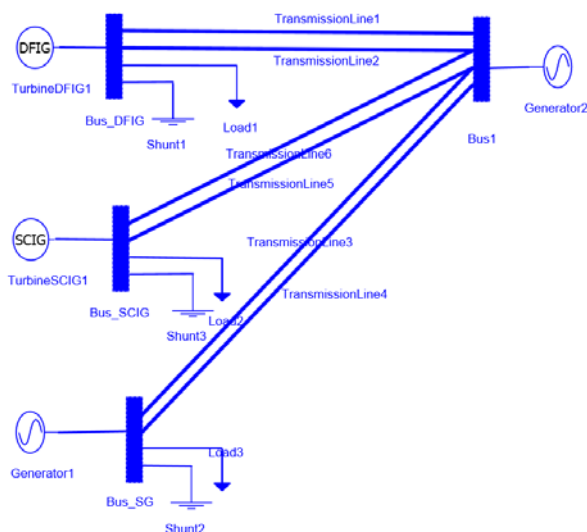
$$P_{WG} = v_{qs} i_{qs} + v_{qr} i_{qr} + v_{ds} i_{ds} + v_{dr} i_{dr} \quad (9)$$

$$Q_{WG} = v_{qs} i_{ds} - v_{ds} i_{qs} + v_{qr} i_{dr} - v_{dr} i_{qr} \quad (10)$$

۴. تحلیل دینامیکی ژنراتور

در ادامه ابتدا شبکه نمونه آزمون معرفی می گردد تا بر روی آن تحلیل‌های مختلف پایداری گذرا صورت گرفته و سپس با ارائه سناریوهای مختلف، مقایسه رفتار و عملکرد ژنراتور القایی با ژنراتور سنکرون انجام می‌شود.

شبکه مورد بررسی در شکل (۳) نشان داده شده که دارای سه نوع ژنراتور سنکرون، القایی قفس سنجابی و القایی با تغذیه دوگانه است. در این شبکه، شینه ۱ به عنوان شینه بی‌نهایت است. در شینه Bus_DFIG یک مزرعه بادی DFIG با ۵۰ توربین بادی وجود دارد که مشخصات هر توربین آن در جدول (۱) ارائه شده است. مشخصات و تعداد توربین بادی SCIG مربوط به مزرعه بادی موجود در شینه Bus_SCIG نیز مشابه مشخصات و تعداد توربین بادی مزرعه DFIG است. یک ژنراتور سنکرون با مشخصات ارائه شده در جدول (۲) نیز در شینه Bus_SG قرار دارد.



شکل ۳: دیاگرام تک‌خطی شبکه نمونه

خطوط مابین شینه ۱ و شینه‌های ژنراتورها دارای راکتانس 0.08 پریونیت می‌باشد. هر یک از شینه‌های ژنراتورها، دارای بار محلی به میزان 50 مگاوات و 15 مگاوار می‌باشند. سرعت اولیه ژنراتور DFIG برابر $1/0.3$ پریونیت و سرعت ژنراتور SCIG پس از تحلیل پخش بار، برابر $1/0.06$ پریونیت حاصل می‌گردد.

۴-۱. بررسی سطح پایداری گذرا

جهت بررسی سطح پایداری گذرا، شاخص زمان بحرانی رفع خطا (CCT) انتخاب شده است. بدین منظور خطای سه فاز متقارن در شینه‌های هر یک از سه ژنراتور اعمال شده است. زمان بروز خطا $t=0.1s$ است و با خروج یکی از خطوط موازی بین شینه ژنراتوری و شینه مرجع، خطا در زمان $t=0.2s$ رفع می‌گردد. حال زمان تداوم خطا به تدریج افزایش داده می‌شود تا ناپایداری حاصل شود.

جدول ۱: اطلاعات ژنراتور القایی DFIG و SCIG

S(MVA)	2.5
P(MW)	2
R_s (pu)	0.00488
X_s (pu)	0.0923
R_r (pu)	0.00549
X_r (pu)	0.0995
X_m (pu)	3.953
H_g (s)	0.62
H_l (s)	4.33
K(pu/rad)	1.11
C(pu.s/rad)	0.06

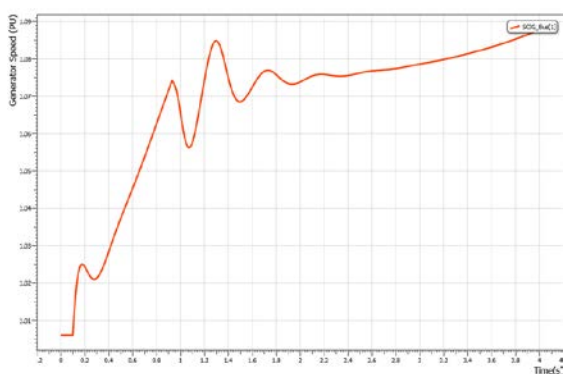
جدول ۲: اطلاعات ژنراتور سنکرون

S(MVA)	125
P(MW)	100
X_d (pu)	0.8
X_q (pu)	0.6
X'_d (pu)	0.15
T'_{d0} (s)	5

شکل (۴) تغییرات سرعت ژنراتور DFIG را با زمان رفع خطا برابر

$t=0.63s$ نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ژنراتور در این حالت، پایدار می‌باشد. شکل (۵) نمودار تغییرات سرعت با زمان رفع خطای $t=0.64s$ است. این زمان رفع خطا منجر به بروز ناپایداری شده است. لذا برای ژنراتور DFIG در شبکه ارائه شده، CCT برابر 0.53 ثانیه (اختلاف بین 0.63 ثانیه و 0.1 ثانیه) می‌باشد.

نقش نیروگاههای بادی در پایداری گذرای شبکه
 بیست و هشتمین کنفرانس بین‌المللی برق - ۱۳۹۲ تهران، ایران



شکل (۷): نمودار سرعت ژنراتور SCIG برای زمان رفع خطای $t=0.93s$

با انجام این شبیه‌سازی برای ژنراتور سنکرون، زمان بحرانی رفع خطا برابر 0.59 ثانیه حاصل می‌شود.

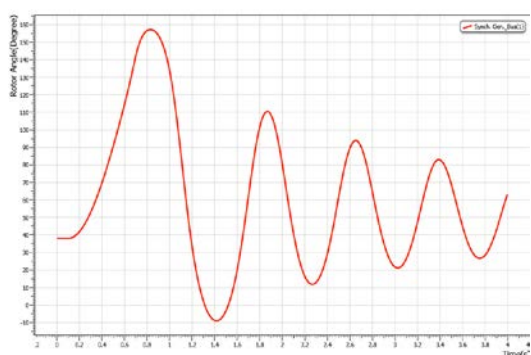
نمودارهای (۸) و (۹) تغییرات زاویه روتور ژنراتور سنکرون را برای قبل و بعد از بروز ناپایداری نشان می‌دهند.

جدول (۳) مقادیر CCT را برای این سه ژنراتور نشان می‌دهد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود کمترین مقدار مربوط به ژنراتور القایی DFIG است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت ژنراتور القایی در شرایط برابر با ژنراتور سنکرون، از سطح پایداری کمتری برخوردار است.

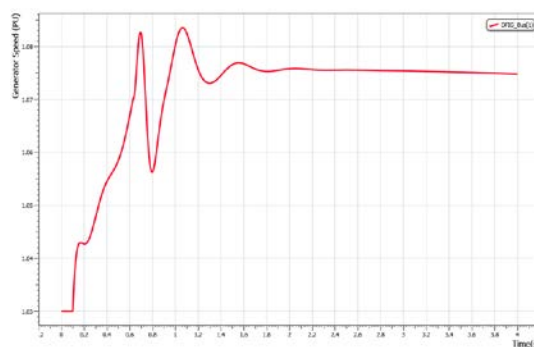
بالا بودن مقدار CCT ژنراتور القایی SCIG، نه به دلیل مشخصه ذاتی آن بلکه به دلیل کوچک بودن قابل ملاحظه سرعت (لغزش) ژنراتور است. قطعاً اگر این ژنراتور دارای لغزشی مشابه ژنراتور DFIG گردد، از سطح پایداری کمتری برخوردار خواهد گردید.

لازم بذکر است در این شبیه‌سازی‌ها به دلیل ارزیابی ویژگی‌های ذاتی ژنراتورها، از هیچ نوع کنترل‌کننده‌ای استفاده نشده است.

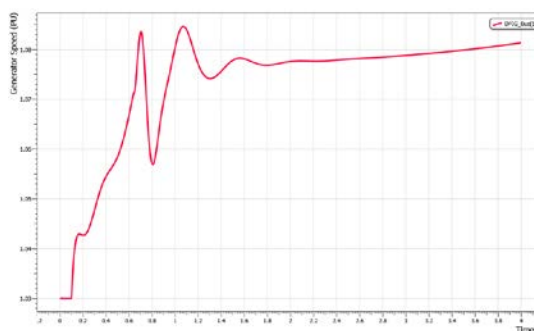


شکل ۸: نمودار زاویه روتور ژنراتور سنکرون برای زمان رفع خطای

$$t=0.69s$$

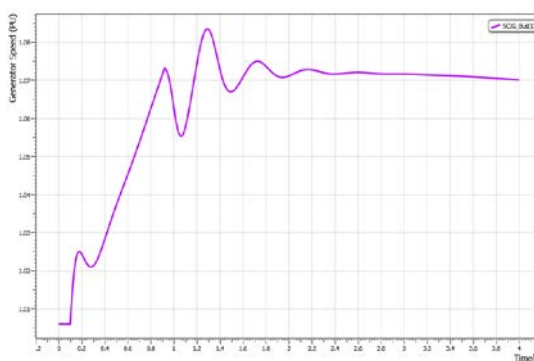


شکل ۴: نمودار سرعت ژنراتور DFIG برای زمان رفع خطای $t=0.63s$



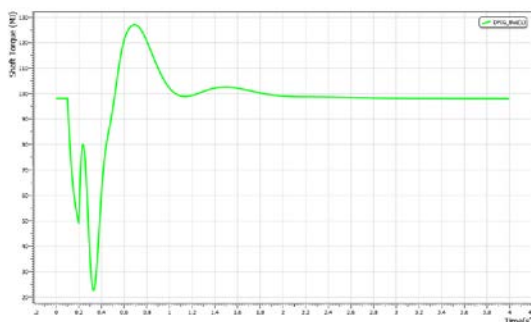
شکل ۵: نمودار سرعت ژنراتور DFIG برای زمان رفع خطای $t=0.64s$

شکل‌های (۶) و (۷) تغییرات سرعت ژنراتور SCIG را در دو حالت زمان رفع خطای برابر $t=0.93s$ و $t=0.92s$ نشان می‌دهد. با ملاحظه نمودار سرعت ژنراتور SCIG در این دو شکل می‌توان نتیجه گرفت CCT برای این ژنراتور برابر 0.82 ثانیه می‌باشد.



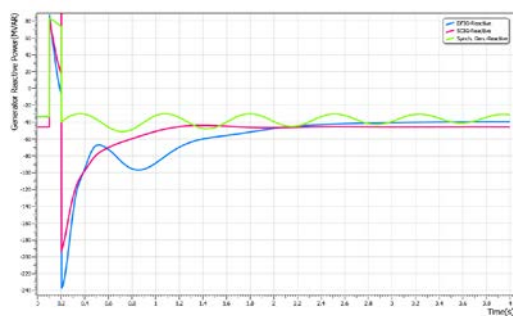
شکل ۶: نمودار سرعت ژنراتور SCIG برای زمان رفع خطای $t=0.92s$

از آنجا که توان راکتیو ژنراتور القایی متناسب با سرعت آن است، لذا پس از رفع خطا و به دلیل افزایش سرعت، همان‌طور که در شکل (۱۲) ملاحظه می‌شود، هر دو ژنراتور القایی، توان راکتیو قابل ملاحظه‌ای از شبکه جذب می‌کنند. در صورتیکه این امر در مورد ژنراتور سنکرون دیده نمی‌شود.



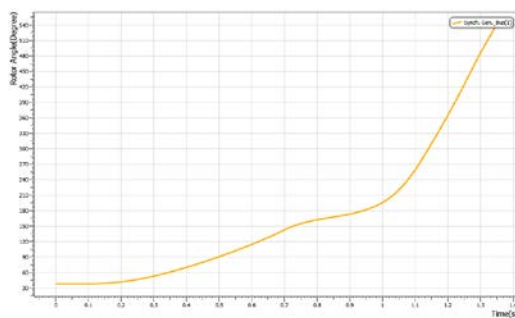
شکل ۱۱: نمودار گشتاور ژنراتور القایی DFIG

با توجه به جذب توان راکتیو نسبتاً زیاد از سوی هر دو ژنراتور القایی، ولتاژ پایانه این دو ژنراتور پس از رفع خطا دیرتر بازیابی می‌شود. این واقعیت در شکل (۱۳) دیده می‌شود. بنابراین ژنراتورهای القایی SCIG و DFIG به زمان طولانی‌تری جهت بازیابی ولتاژ نسبت به ژنراتور سنکرون نیاز دارند. از سوی دیگر در این تحلیل ژنراتور DFIG نسبت به ژنراتور SCIG توان راکتیو بیشتری جذب می‌کند و زمان رسیدن به حالت ماندگار نیز در مورد آن بیشتر است. علت این امر بیشتر بودن سرعت اولیه ژنراتور DFIG نسبت به ژنراتور SCIG است که منجر به افزایش جذب توان راکتیو و نیز افزایش زمان بازیابی ولتاژ می‌شود.



شکل ۱۲: نمودار توان راکتیو برای سه ژنراتور SCIG، DFIG و SG

در خصوص تغییرات توان اکتیو دو ژنراتور سنکرون و القایی باید گفت، از آنجا که در ژنراتور سنکرون، توان اکتیو متناسب با زاویه روتور بوده و معادله دیفرانسیل این زاویه نسبت به گشتاور شتاب‌دهنده از درجه



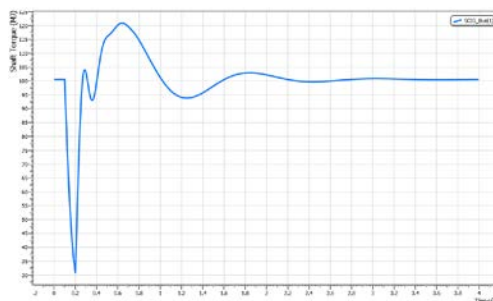
شکل ۹: نمودار زاویه روتور ژنراتور سنکرون برای زمان رفع خطای $t=0.7s$

جدول ۳: زمان بحرانی رفع خطا برای سه نوع ژنراتور

SCIG	DFIG	SG	نوع ژنراتور
0.82	0.53	0.59	CCT(s)

۲-۴. بررسی رفتار دینامیک ژنراتورها

پس از تعیین زمان بحرانی رفع خطا برای هر سه نوع ژنراتور، در این قسمت عملکرد دینامیکی این سه ژنراتور در شرایط بروز خطای سه فاز مقارن مشروحه در قبل مقایسه شده است. زمان شروع خطا $t=0.1s$ است و در زمان $t=0.2s$ با خروج یکی از خطوط موازی بین شینه ژنراتور و شینه بینهایت، خطا برطرف می‌شود. در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) گشتاور روی شفت ژنراتورهای القایی SCIG و DFIG، نشان داده شده است. در حین بروز خطا شار استاتور و رتور ژنراتور القایی کاهش می‌یابد. این امر منجر به کاهش گشتاور الکترومغناطیسی و توان اکتیو ژنراتور می‌شود. لذا بیشتر بودن گشتاور مکانیکی نسبت به گشتاور الکترومغناطیسی، منجر به شتاب‌گیری ژنراتور می‌شود.



شکل ۱۰: نمودار گشتاور ژنراتور القایی SCIG

تغییرات توان راکتیو، ولتاژ پایانه و توان اکتیو سه ژنراتور شبکه نیز به ترتیب در شکل‌های (۱۲) تا (۱۴) ارائه شده است.

که ژنراتورهای القایی از سطح پایداری کمتری نسبت به ژنراتور سنکرون برخوردارند. علاوه بر آن پایداری گذرای ژنراتور سنکرون کاملاً وابسته به مقدار اولیه زاویه روتور است. لکن در مورد ژنراتور القایی سطح پایداری کاملاً وابسته به سرعت (لغزش) اولیه ژنراتور است. این موضوع در مقایسه سطح پایداری ژنراتور DFIG و SCIG به وضوح دیده شد.

همچنین عملکرد دینامیکی این سه نوع ژنراتور در شرایط بروز خطای سه‌فاز متقارن بررسی شد. بررسی نتایج نشان‌دهنده آن است که ژنراتور القایی پس از رفع خطا و به علت افزایش سرعت، توان راکتیو قابل ملاحظه‌ای از شبکه جذب می‌کند که این امر در مورد ژنراتور سنکرون دیده نمی‌شود. در نتیجه ژنراتور القایی بر خلاف ژنراتور سنکرون به زمان بیشتری جهت بازیابی ولتاژ نیاز دارد. همچنین نشان داده شد که در این تحلیل، به علت بیشتر بودن سرعت اولیه ژنراتور DFIG نسبت به ژنراتور SCIG، توان راکتیو مورد نیاز و زمان بازیابی ولتاژ در ژنراتور DFIG نسبت به ژنراتور SCIG بیشتر محاسبه شده است.

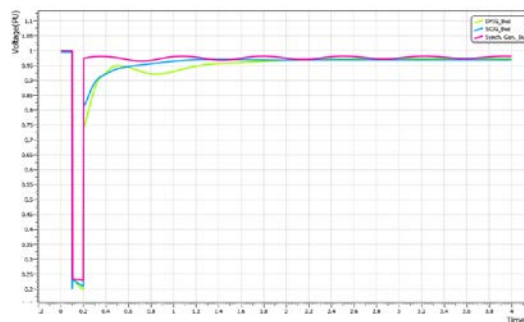
یکی دیگر از تفاوت‌های ذاتی ژنراتور القایی و سنکرون در مشخصه دینامیک توان اکتیو پس از بروز اختلال است که در این حالت توان اکتیو ژنراتور سنکرون حالت نوسانی داشته لکن در مورد ژنراتور القایی توان اکتیو، میرا شونده غیرنوسانی است.

با توجه به تفاوت‌های ذکر شده در ژنراتورهای القایی و سنکرون، پیشنهاد می‌گردد جهت مطالعات پایداری گذرای مزارع بادی و ورود آن‌ها به شبکه رویه‌های مختص به این نوع ژنراتورها استخراج شده و مورد استفاده قرار داده شود.

۶. مراجع

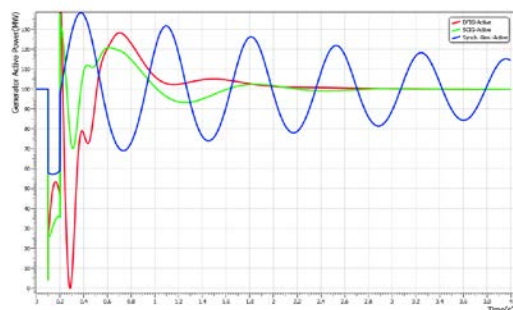
- [1] - D.Naimi, T.Bouktir "Impact of Wind Power on the Angular Stability of a Power System", Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, Issue 12, January-June 2008
- [2] - S.Dai, L.Shi, Y.Ni, L.Yao, M.Bazargan, "Transient Stability Evaluations of Power System with Large DFIG Based Wind Farms", Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010, Aisa, Pacific
- [3] - M. A. Chowdhury N. Hosseinzadeh W. Shen H. R. Pota T. A. Choudhury "Impact of DFIG wind turbines on transient stability of power systems - a review", 8th IEEE Conference on Industrial Electronic and Application (ICIEA), Melbourne, 2013
- [4] - J. C. Muñoz, C. A. Cañizares "Comparative Stability Analysis of DFIG-based Wind Farms and Conventional Synchronous Generators", Power System Conference and Exposition, March 2011
- [5] - A.P.Grilo, A.A.Mota, L.T.M.Mota, W.Freitas, "An Analytical Method for Analysis of Large-Disturbance Stability of Induction Generators", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 22, NO. 4, NOVEMBER 2007
- [6] - CIGRE Technical Brochure on MODELING AND DYNAMIC BEHAVIOR OF WIND GENERATION AS IT RELATES TO POWER SYSTEM CONTROL AND DYNAMIC PERFORMANCE, International Conference on Large High Voltage Electric Systems, Jan. 2007.

دوم است، لذا در شکل موج توان اکتیو، نوسانات با فرکانس پایین دیده می‌شود و این نوسانات منشاء ایجاد نوسانات فرکانس پایین در شبکه می‌باشند. لکن در ژنراتور القایی، توان اکتیو متناسب با سرعت (لغزش) می‌باشد که سرعت (لغزش) دارای معادله دیفرانسیل درجه اول نسبت به گشتاور شتاب‌دهنده است. بنابراین در اینجا، نوسانی مشاهده نمی‌شود و توان اکتیو به صورت موج میرا شونده بدون نوسان به حالت ماندگار می‌رسد.



شکل ۱۳: نمودار ولتاژ برای سه ژنراتور SG، SCIG و DFIG

این واقعیت در شکل (۱۴) به وضوح مشخص است.



شکل ۱۴: نمودار توان اکتیو برای سه ژنراتور SG، SCIG و DFIG

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله رفتار دینامیکی ژنراتور القایی در قیاس با ژنراتور سنکرون در شبکه مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا سطح پایداری گذرای این دو ژنراتور بررسی شد که مبنای آن، شاخص "زمان بحرانی رفع خطا" بود. در این تحلیل دو نوع ژنراتور القایی DFIG و SCIG جهت مقایسه با ژنراتور سنکرون و همچنین مقایسه با یکدیگر مورد نظر قرار گرفتند. با انجام شبیه‌سازی‌های لازم، زمان بحرانی رفع خطا برای سه نوع ژنراتور استخراج شد. با مقایسه این شاخص برای ژنراتورها، نتیجه می‌شود

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



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



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از
وب آوساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی