تنظیم بهینه پارامترهای کنترلی STATCOM و SVC به منظور بهبود عملکرد دینامیکی سیستم قدرت متصل به ژنراتور القایی ازدوسوتغذیه

مرتضی محمدی*[۱]، محسن گیتی‌زاده[۲]، جمشید آقایی[۲]، علیرضا روستا[۲]

*۱- گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون، msc.mohammadi@yahoo.com

۲- گروه برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز،

gitizadeh@sutech.ac.ir, aghaei@sutech.ac.ir, roosta@sutech.ac.ir

چکیده: در سال‌های اخیر با کمبود منابع انرژی، استفاده از انرژی‌های نو مانند انرژی بادی در حال افزایش می‌باشد. در نتیجه بررسی و مطالعه، جهت استفاده بهینه از این منابع انرژی بسیار لازم است. امروزه در نیروگاه‌های بادی مدرن از ژنراتورهای القایی ازدوسوتغذیه (DFIGs) استفاده می‌شود. مطالعات پایداری در هنگام اتصال این نوع ژنراتورها به سیستم قدرت یک امر بسیار مهم است. جبران‌ساز استاتیکی توان راکتیو (SVC) و جبران‌ساز استاتیکی سنکرون (STATCOM) نمونه‌هایی از ادوات FACTS می‌باشند که به صورت موازی نصب می‌شوند و از مهمترین کاربردهای آن‌ها تثبیت و تنظیم ولتاژ در یک سطح معین و به دنبال آن بهبود پایداری سیستم قدرت است. تنظیم بهینه پارامترهای کنترلی این جبران‌سازها بسیار مهم می‌باشد. در این تحقیق، ابتدا روشی مناسب جهت انتخاب تابع هدف به منظور حداقل کردن نوسانات ناشی از اغتشاش پیشنهاد می‌شود. سپس تنظیم بهینه پارامترهای کنترلی SVC و STATCOM توسط الگوریتم ژنتیک در قالب یک بهینه‌سازی انجام خواهد شد. در انتها کارایی روش پیشنهادی در بهبود پایداری ولتاژ، سرعت روتور و توان DFIG و همچنین پایداری سرعت روتور ژنراتورهای سنکرون بررسی خواهد شد. این موضوع با بررسی و مقایسه نتایج در شرایط حضور و عدم حضور SVC و STATCOM و مقایسه عملکرد این دو جبران‌ساز موازی در یک شبکه نمونه ارزیابی می‌شود. تمام مراحل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی توسط نرم‌افزار MATLAB صورت می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: ژنراتور القایی ازدوسوتغذیه (DFIG)، جبران‌ساز استاتیکی توان راکتیو (SVC)، جبران‌ساز استاتیکی سنکرون (STATCOM)، پایداری دینامیکی، بهینه‌سازی.

۱- مقدمه

یکی از راه‌های تولید الکتریسیته از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده از توربین‌های بادی می‌باشد. در توربین‌های بادی از دو نوع ژنراتور القایی قفس سنجابی (SCIG) و ژنراتور القایی ازدوسوتغذیه (DFIG) استفاده می‌شود. به علت عملکرد DFIG در سرعت متغیر در مقایسه با SCIG از این نوع ژنراتورهای بادی جهت دریافت انرژی بیشتری از باد می‌توان استفاده کرد. ژنراتورهای القایی ازدوسوتغذیه دارای قابلیت کنترل توان راکتیو و توان اکتیو و همچنین دارای مزیت‌هایی از قبیل دریافت انرژی زیاد، بهبود کیفیت توان و کاهش فشارهای مکانیکی می‌باشند[۱]. با افزایش اندازه و بزرگی سیستم قدرت، قسمت‌هایی از سیستم که وظیفه تولید انرژی الکتریسیته را دارند مانند ژنراتورهای سنکرون و ژنراتورهای بادی، مستعد بروز نوسانات الکترومکانیکی می‌باشند. همچنین با افزایش سطح ولتاژ انتقال، مشکلات نوسانات دینامیکی نیز در سیستم قدرت افزایش می‌یابد. این نوسانات ممکن است در یک ژنراتور سنکرون یا در یک نیروگاه رخ دهند که در این حالت فرکانس نوسانات از ۱ تا ۲ هرتز می‌باشد و یا در تعداد زیادی از ژنراتورهای سنکرون که به صورت

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.3.7]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012

جداگانه در نقاط مختلف سیستم قدرت نصب شده‌اند رخ دهد که در این حالت فرکانس این نوسانات از ۲ تا ۸ هرتز می‌باشد. منظور از نوسانات دینامیکی، نوسانات سرعت روتور و زاویه بار ژنراتورهای سنکرون است که در شرایط بروز اغتشاش‌های کوچک در سیستم قدرت، توسط سیستم‌های کنترل نیروگاهی مانند پایدارساز سیستم قدرت (PSS) و سیستم کنترل فرکانس (Governor) برطرف می‌شوند. با رشد روزافزون استفاده از DFIG مطالعه تاثیر این ماشین‌ها بر روی عملکرد دینامیکی سیستم قدرت بسیار مهم می‌باشد. یکی از قابلیت‌های مهم DFIG نگهداشتن ولتاژ در نزدیکی مقدار حالت پایدار در هنگام بروز اغتشاشات کوچک می‌باشد. این امر توسط سیستم کنترل DFIG و کانورترهای سمت شبکه و سمت روتور امکان‌پذیر می‌شود. به همین دلیل و همچنین قابلیت دسترسی به ظرفیت DFIG جهت بهبود پایداری سیستم قدرت می توان از این نوع ژنراتورها استفاده کرد. بنابراین در هنگام بروز نوسانات دینامیکی در سیستم قدرت به همراه کنترل کننده‌های نیروگاهی مانند PSS و گاورنر، حضور DFIG جهت بهبود پایداری بسیار موثر می‌باشد [۲]. با حضور چنین کنترل‌کننده‌هایی، استفاده از کنترل‌کننده‌های خطوط انتقال مانند ادوات FACTS از جمله SVC و STATCOM می‌تواند به بهبود پایداری دینامیکی کمک کند. نقش این سیستم‌های کنترلی در خطوط انتقال کمک به حفظ سطح ولتاژ و فرکانس در نقاط مختلف شبکه و کنترل مقدار توان اکتیو و راکتیو است. این روش کنترلی می‌تواند شامل کنترل مقدار مانا و نوسانات ناشی از اغتشاش باشد. جهت استفاده از SVC و STATCOM به عنوان پایدارساز در سیستم قدرت و برطرف کردن مسائل پایداری، تخمین دقیق پارامترهای کنترلی این جبران‌سازها مانند بهره انتگرال‌گیر حلقه کنترل ولتاژ (K_i) بسیار ضروری است. در صورت انتخاب نامناسب این پارامتر ممکن است ناپایداری نوسانات در سیستم قدرت بیشتر شود. جهت تنظیم بهینه بهره انتگرال‌گیر حلقه کنترل ولتاژ در ادوات FACTS می‌توان از الگوریتم‌های هوشمند استفاده کرد. به منظور انجام مراحل بهینه‌سازی می‌بایستی در ابتدا تابع هدف مناسبی انتخاب شود که به ازای انتخاب بهترین مقدار مربوط به پارامتر مورد نظر، این تابع هدف مینیمم شود. در [۳] از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی بهره SVC به منظور بهبود پایداری ولتاژ در سیستم قدرت استفاده شده است. در این تحقیق از از تغییرات ولتاژ شین‌ها در تابع هدف استفاده شده است. در [۴] به بهبود عملکرد و پایداری سیستم قدرت متصل به DFIG پرداخته شد و ثابت شد که با تنظیم بهینه پارامترهای کنترلی DFIG توسط الگوریتم ژنتیک بهبود بیشتری در پایداری ولتاژ صورت می‌گیرد. همچنین مقایسه بین SVC و STATCOM جهت بهبود پایداری سیستم قدرت متصل به نیروگاه بادی در [۵] انجام گرفته و ثابت شده است که STATCOM در مقایسه با SVC جهت جبران کردن مقدار توان راکتیوی که توسط ژنراتور القایی از شبکه دریافت شده است بهتر عمل می‌کند. در [۶] به پایداری دینامیکی سیستم قدرت متصل به نیروگاه‌های بادی با حضور ادوات FACTS مانند SVC، STATCOM و UPFC پرداخته شده است. روش جدیدی جهت تنظیم بهینه بهره SVC در [۷] ارائه شده است و از یک روش جایگذاری قطب‌ها بر پایه تئوری کنترل تغییرات مینیمم جهت طراحی یک کنترلر PID برای SVC استفاده شده است. هدف از این تحقیق ارائه روشی مناسب جهت تنظیم بهینه بهره حلقه کنترل ولتاژ SVC و STATCOM به منظور بهبود پایداری دینامیکی سیستم قدرت متصل به DFIG می‌باشد. به این منظور یک تابع هدف مناسب ارائه و توسط الگوریتم ژنتیک به ازای بهترین مقادیر برای بهره مورد نظر، این تابع هدف مینیمم می‌شود. همچنین روشی جهت دسترسی به بهره حلقه کنترل ولتاژ SVC و STATCOM به منظور مینیمم‌سازی معرفی می‌شود. در بخش ۲ به مدلسازی تمامی اجزا سیستم قدرت از قبیل ژنراتورهای سنکرون، ژنراتور القایی ازدوسوتغذیه، توربین بادی و جبران‌سازهای موازی پرداخته می‌شود. در بخش ۳ توسط الگوریتم ژنتیک و روش‌های پیشنهادی، فرایند بهینه‌سازی صورت می‌گیرد. در بخش ۴ به بررسی و مقایسه نتایج شبیه‌سازی و بهینه‌سازی با حضور SVC و STATCOM در شرایط مشابه و ظرفیت مشابه پرداخته و عملکرد این دو جبران‌ساز در بهبود پایداری سیستم قدرت بررسی می‌شود. در ادامه جمع‌بندی نتایج بدست آمده ارائه می‌شود. تمامی مراحل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی توسط نرم‌افزار MATLAB و بر روی یک سیستم قدرت چند ماشینه انجام می‌پذیرد.

۲- مدلسازی اجزاء سیستم قدرت

در این بخش به مدلسازی اجزا مختلف سیستم قدرت از قبیل ژنراتورهای سنکرون، ژنراتورهای بادی و ادوات FACTS پرداخته می‌شود. به منظور مطالعات دینامیکی، سیستم قدرت توسط دسته‌ای از معادلات جبری و دیفرانسیلی به صورت زیر توصیف می‌شود:

$$\dot{x} = f(x,u)\ ,\quad y = g(x,u) \qquad (۱)$$

در روابط فوق x بردار مربوط به متغیرهای حالت، y بردار مربوط به متغیرهای خروجی سیستم، u بردار متغیرهای ورودی سیستم و f و g توابع غیر خطی می باشند که به ترتیب خروجی‌ها و حالت‌های سیستم را توصیف می‌کنند.

۲-۱- مدلسازی دینامیکی ژنراتورهای سنکرون

ژنراتورهای سنکرون شامل دو قسمت استاتور و روتور می باشند که درون استاتور سیم‌بندی‌های سه‌فاز به صورت گسترده در محیط استاتور توزیع شده‌اند. بر روی روتور نیز یک سیم‌بندی میدان بر روی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.3.7]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012

محور عرضی (q) و دو سیم‌بندی دمپر K_d و K_q نیزبه ترتیب بر روی محورهای عرضی و طولی (d) قرار گرفته‌اند. همچنین یک سیم‌بندی مدار باز g نیز بر روی محور d قرار می‌گیرد. معادلات ولتاژ- جریان مربوط به ماشین سنکرون در قاب مرجع qd0 روتور که در آن تمامی کمیت‌های روتور به استاتور ارجاع داده شده‌اند به صورت زیر است [۸]:

$$V_{qs} = Ri_{qs} + \frac{1}{\omega_b}\frac{d}{dt}\psi_{qs} + \frac{\omega}{\omega_b}\psi_{ds} \quad (۲)$$

$$V_{ds} = Ri_{ds} + \frac{1}{\omega_b}\frac{d}{dt}\psi_{ds} - \frac{\omega}{\omega_b}\psi_{qs} \quad (۳)$$

$$V'_g = R'_g i'_g + \frac{1}{\omega_b}\frac{d}{dt}\psi'_g \quad (۴)$$

$$0 = R'_{kq} i'_{kq} + \frac{1}{\omega_b}\frac{d}{dt}\psi'_{kq} \quad (۵)$$

$$V'_f = R'_f i'_f + \frac{1}{\omega_b}\frac{d}{dt}\psi'_f \quad (۶)$$

$$0 = R'_f i'_f + \frac{1}{\omega_b}\frac{d}{dt}\psi'_{kd} \quad (۷)$$

در روابط فوق $\psi = \omega_b \lambda$ که در آن ω_b فرکانس پایه در محاسبه راکتانس‌ها می‌باشد. V_{ds} و V_{qs} ولتاژ سیم‌بندی‌های استاتور انتقال داده شده به قاب مرجع qd0 روتور می‌باشند. V'_g و V'_f نیز به ترتیب ولتاژ سیم‌بندی‌های مدار باز و سیم بندی میدان تحریک روتور در قاب مرجع می‌باشند. که در آن‌ها تمامی مقادیر روتور به سمت استاتور ارجاع داده شده‌اند. رابطه گشتاور الکترومغناطیسی نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T_{em} = \frac{3}{2}\frac{P}{2}(\lambda_d i_q - \lambda_q i_d) \quad (۸)$$

که در آن T_{em} گشتاور الکترومغناطیسی، λ_q و λ_d به ترتیب شاردور محورهای q و d و همچنین i_q و i_d به ترتیب جریان محورهای q و d می‌باشند.

۲-۲- مدلسازی نیروگاه بادی شامل DFIG

توربین‌های بادی که در نیروگاه‌های بادی مدرن جهت تولید انرژی الکتریسیته از انرژی بادی مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل قسمت‌های مختلفی از قبیل ژنراتورهای القایی ازدوسوتغذیه (DFIG)، روتور، جعبه دنده، مکانیزم‌های ترمز و مکانیزم‌های انحراف توربین، بادنما و بادسنج می‌باشند. در ادامه مدل دینامیکی ژنراتور القایی و توربین بادی و همچنین سیستم‌های کنترلی DFIG شرح داده می‌شود.

۲-۲-۱- مدلسازی دینامیکی ژنراتور القایی

ژنراتورهای القایی اغلب در توربین‌های بادی جهت تولید توان بادی استفاده می‌شوند. ساختمان این ژنراتورها مشابه موتورهای القایی است. با این تفاوت که با گردش روتور، ولتاژ درون استاتور القا می‌شود. نحوه سیم‌بندی سه‌فاز بر روی استاتور ماشین‌های القایی به صورت سیم‌بندی سه فاز گسترده می‌باشد که محور مغناطیسی این سیم‌بندی‌ها ۱۲۰ درجه با یکدیگر اختلاف فاز دارند. روتور نیز شامل سیم‌بندی‌های سه‌فاز گسترده مشابه استاتور می‌باشد. معادلات ولتاژ- جریان سیم‌بندی فازهای روتور و استاتور در قاب مرجع qd0 به صورت زیر می‌باشد [۹]:

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt}\lambda_{qs} + \omega\lambda_{ds} \quad (۹)$$

$$V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt}\lambda_{ds} - \omega\lambda_{qs} \quad (۱۰)$$

$$V_{0s} = R_s i_{0s} + \frac{d}{dt}\lambda_{0s} \quad (۱۱)$$

$$V_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt}\lambda_{qr} + (\omega - \omega_r)\lambda_{dr} \quad (۱۲)$$

$$V_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt}\lambda_{dr} - (\omega - \omega_r)\lambda_{qr} \quad (۱۳)$$

$$V_{0r} = R_r i_{0r} + \frac{d}{dt}\lambda_{0r} \quad (۱۴)$$

در روابط فوق V_{qs} ، V_{ds} و V_{0s} ولتاژ سیم‌بندی‌های استاتور در قاب مرجع qd0 و همچنین V_{qr} ، V_{dr} و V_{0r} ولتاژ سیم‌بندی‌های روتور در قاب مرجع qd0 می‌باشند. ω سرعت زاویه‌ای قاب مرجع و ω_r سرعت زاویه‌ای روتور می‌باشد.

۲-۲-۲- مدلسازی توربین بادی

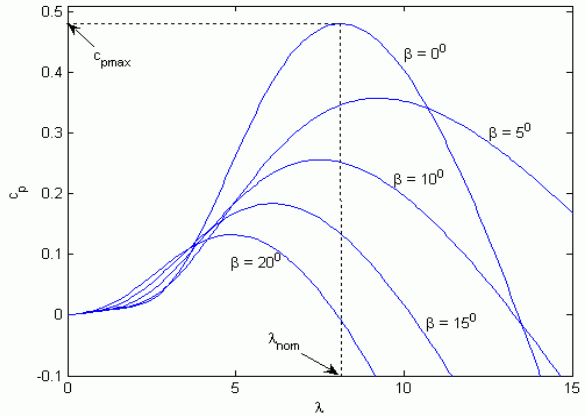
مدل توربین بادی که در این بخش توصیف می‌شود براساس مشخصه های توان حالت دائمی توربین می‌باشد. توان خروجی توربین بادی با معادله زیر توصیف می‌شود [۱۰]:

$$P_m = C_P(\lambda, \beta)\frac{\rho}{2}AV^3 \quad (۱۵)$$

که در آن P_m توان مکانیکی خروجی توربین بر حسب وات، C_P ضریب عملکرد توربین، ρ چگالی هوا بر حسب Kg/m^3 ، A ناحیه جاروب شده توسط توربین بادی بر حسب m^2 ، V سرعت باد بر حسب m/s ، λ نسبت سرعت نوک تیغه روتور به سرعت باد و β زاویه شیب پره یا Pitch angle می‌باشد. مشخصه های $C_P - \lambda$ برای مقادیر متفاوت زاویه شیب β در شکل ۱ نشان داده شده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

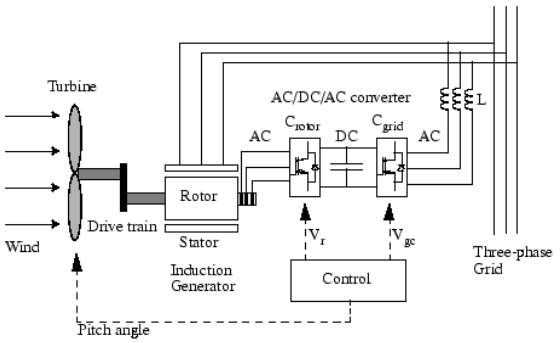
[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.3.7]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012



شکل (۱): مشخصه های $C_P - \lambda$ برای مقادیر متفاوت زاویه شیب β

۲-۲-۳- اصول عملکرد و مدلسازی DFIG

ژنراتورهای القایی ازدوسوتغذیه شامل یک مبدل AC/DC/AC می‌باشند که این مبدل به دو قسمت مبدل سمت روتور(C_{Rotor}) و مبدل سمت شبکه (C_{grid}) تقسیم می‌شود. ساختار DFIG و سیستم کنترل آن در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

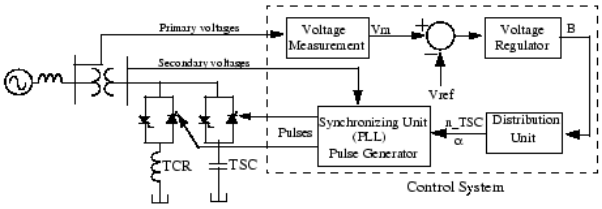


شکل (۲): ساختار DFIG و سیستم کنترلی آن

توان حاصل از توربین بادی توسط ژنراتور القایی به توان الکتریکی تبدیل شده و به‌وسیله سیم‌پیچ‌های استاتور و روتور به شبکه فرستاده می‌شود. سیستم کنترلی فرمان زاویه شیب و سیگنال‌های فرمان V_r و V_{gc} را به ترتیب برای C_{Rotor} و C_{grid} تولید کرده تا توان توربین بادی، ولتاژ DC و توان راکتیو یا ولتاژ در ترمینال‌های شبکه را کنترل نماید.

۲-۳- جبران‌ساز استاتیکی توان راکتیو (SVC)

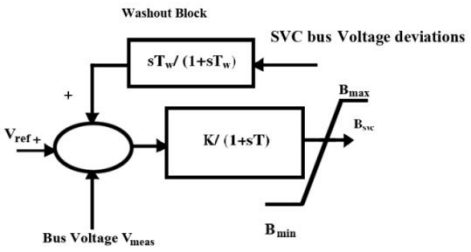
SVC یکی از ادوات موازی خانواده سیستم‌های انتقال جریان متناوب AC (FACTS) می‌باشد که از الکترونیک قدرت برای پخش توان و بهبود پایداری گذرا در سیستم‌های قدرت استفاده می‌کند. SVC ولتاژ را در ترمینال‌های خود با کنترل میزان توان راکتیو تزریق شده یا جذب شده از سیستم قدرت تنظیم می‌نماید. نمودار تک‌خطی یک SVC و بلوک‌دیاگرام سیستم کنترلی آن در ۳ نشان داده شده است [۱۱].



شکل (۳): دیاگرام تک‌خطی SVC و سیستم کنترل آن

این سیستم کنترلی شامل موارد زیر می‌باشد:

۱) سیستم اندازه‌گیری، که ولتاژ توالی مثبتی را که باید کنترل شود اندازه‌گیری می‌کند. ۲) یک رگولاتور ولتاژ که از خطای ولتاژ برای تعیین سوسپتانس مورد نیاز به منظور ثابت نگه‌داشتن ولتاژ سیستم استفاده می‌کند. ۳) یک واحد توزیع که TSC و TCR هایی را که باید روشن و خاموش شوند را تعیین کرده و زاویه آتش مربوط به آن‌ها را محاسبه می‌کند. ۴) یک سیستم همزمان‌کننده که از یک حلقه قفل‌کننده‌فاز همزمان‌شده یا ولتاژهای ثانویه و یک مولد پالس استفاده می‌کند. رگولاتور ولتاژ SVC در شکل ۴ نشان داده شده‌است.



شکل (۴): رگولاتور ولتاژ SVC

معادله حالت برای سیستم کنترل ولتاژ به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\dot{B}_{svc} = \frac{K}{T}\left(V_{ref} - V_{meas}\right) - \frac{1}{T}B_{svc} \qquad (۱۶)$$

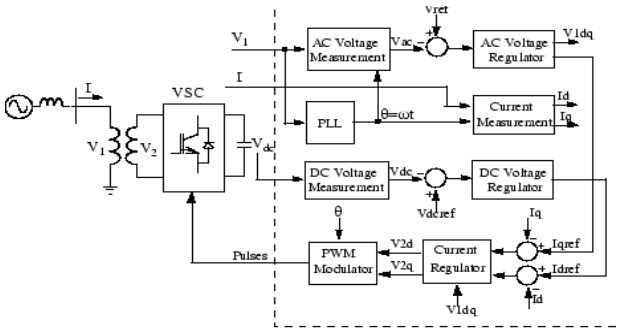
در رابطه فوق B_{svc} سوسپتانس SVC ، V_{ref} ولتاژ مرجع شینی که SVC بر روی آن نصب شده، V_{meas} ولتاژ شین SVC اندازه‌گیری‌شده توسط واحد اندازه‌گیری ولتاژ، T ثابت زمانی سیستم کنترل و K بهره انتگرال‌گیر سیستم کنترل می‌باشد.

۲-۴- جبران‌ساز استاتیکی سنکرون (STATCOM)

STATCOM همانند SVC به صورت موازی به شبکه نصب شده و ولتاژ خط انتقال را در محل اتصال بوسیله جبران موازی کنترل می‌کند. در شکل ۶ ساختار این جبران‌ساز نشان داده شده است. همانطور که مشخص است STATCOM شامل یک مبدل منبع ولتاژ

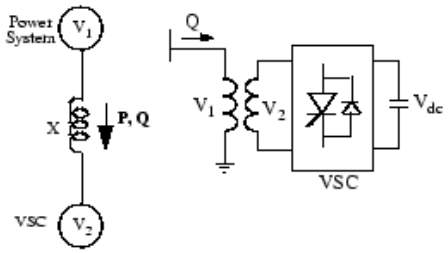
[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.3.7]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

(VSC) می‌باشد که در سمت ثانویه ترانسفورماتور کوپلینگ قرار می‌گیرد. VSC از ادوات الکترونیک قدرت با کموتاسیون اجباری برای سنتز کردن یک ولتاژ *V2* از یک منبع ولتاژ DC استفاده می‌کند. در عملکرد حالت دائمی ولتاژ *V2* تولید شده توسط VSC همفاز با *V1* است. بنابراین تنها توان راکتیو عبور می‌کند. اگر *V2* کوچکتر از *V1* باشد توان راکتیو از *V1* به سمت *V2* عبور می‌کند و اگر *V2* بزرگتر از *V1* باشد توان راکتیو به سمت *V1* جریان می‌یابد. خازن متصل شده در سمت DC مبدل منبع ولتاژ به عنوان یک منبع ولتاژ DC عمل می‌کند.



شکل (۵): ساختار STATCOM و اصول عملکرد آن

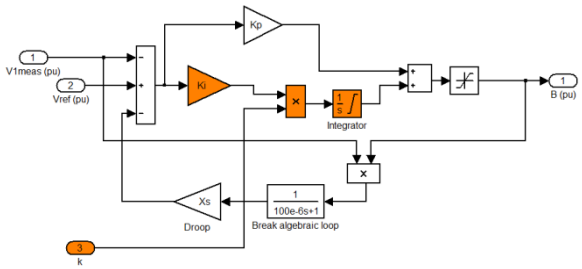
با توجه به شکل ۵ قسمت‌های مختلف سیستم کنترل STATCOM به این شرح می‌باشد: ۱) حلقه قفل‌کننده فاز. ۲) سیستم‌های اندازه‌گیری که مولفه‌های d و q ولتاژها و جریان‌های توالی مثبت AC را که باید به همراه ولتاژ DC کنترل شوند اندازه‌گیری می‌کند. ۳) یک حلقه تنظیم خارجی که شامل یک رگولاتور ولتاژ AC و یک رگولاتور ولتاژ DC است. ۴) یک حلقه تنظیم داخلی که شامل یک رگولاتور جریان می‌باشد [۱۱].



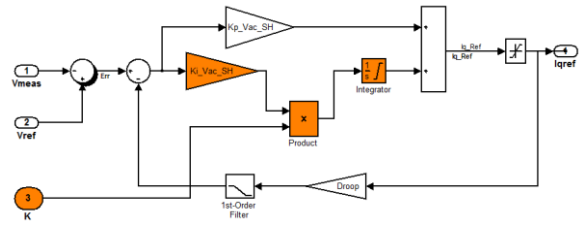
شکل (۶): دیاگرام سیستم کنترل STATCOM

۳- بهینه‌سازی

در این تحقیق با وجود سیستم‌های کنترل نیروگاهی و سیستم کنترل DFIG به بهبود پایداری دینامیکی سیستم قدرت با نصب جبران‌سازهای موازی از قبیل SVC و STATCOM پرداخته می‌شود. انتخاب مناسب پارامترهای کنترلی این جبران‌سازها مانند بهره انتگرال‌گیر رگولاتور ولتاژ (K_i) تاثیر بسیار زیادی بر عملکرد این ادوات به عنوان پایدارساز دارد. در شکل ۷ رگولاتور ولتاژ SVC و در شکل ۸ رگولاتور ولتاژ STATCOM مشاهده می‌شود. همانطور که از این دو شکل مشخص است از یک ضرب‌کننده جهت دسترسی به بهره انتگرال‌گیر استفاده شده است. در ادامه با قرار دادن مقدار K_i در مقدار ۱ در صورت انتخاب بهینه بهره *K*، بهره انتگرال‌گیر رگولاتور ولتاژ SVC و STATCOM به صورت بهینه انتخاب می‌شود.



شکل (۷): رگولاتور ولتاژ SVC به همراه تغییرات، جهت انتخاب بهینه *K*



شکل(۸): رگولاتور ولتاژ STATCOM با تغییرات، جهت انتخاب بهینه *K*

در ادامه روشی مناسب جهت انتخاب تابع هدف پیشنهاد و سپس با انتخاب یک الگوریتم مناسب به اجرای فرایند بهینه‌سازی پرداخته می‌شود.

۳-۱- روش پیشنهادی جهت انتخاب تابع هدف

با توجه به اینکه در این تحقیق پایداری دینامیکی سیستم قدرت مدنظر است. بنابراین نوسانات سرعت روتور و زاویه بار ژنراتورهای سنکرون جهت مینیمم شدن توسط SVC و STATCOM بهترین انتخاب می‌باشد [۱۲]. از این رو بایستی تابع هدفی تعریف شود که تحت تاثیر انتخاب بهره *K* به مینیمم شدن نوسانات سرعت روتور و زاویه بار ژنراتورهای سنکرون کمک کند. جهت انتخاب مناسب تابع

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.3.7]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

هدف معیارهای متفاوتی وجود دارد. در این تحقیق از شاخص مجموع قدر مطلق انحرافات (SADI) استفاده می‌شود که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$SADI = \sum_K \left[\left| \omega_{ref} - \omega_{1k} \right| + \left| \omega_{ref} - \omega_{2k} \right| \right] \quad (۱۷)$$

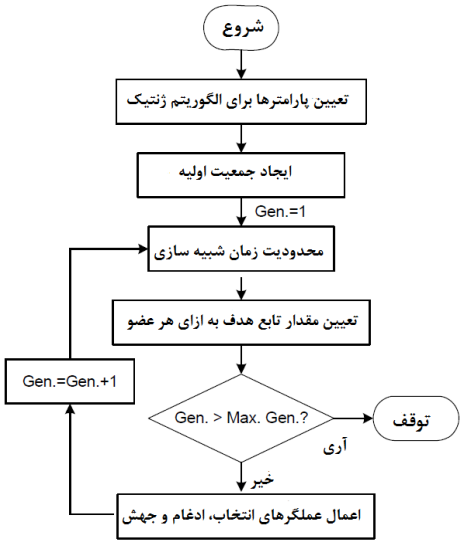
در این رابطه با توجه به اینکه سیستم قدرت مورد مطالعه یک سیستم چند ماشینه با دو ژنراتور سنکرون است ω_{ref} مقدار مرجع سرعت روتور هر دو ژنراتور سنکرون با مقدار ۱ پریونیت، ω_{1k} و ω_{2k} به ترتیب مقدار سرعت روتور ژنراتور سنکرون شماره ۱ و ۲ در طول اغتشاش و مدت زمانی پس از اغتشاش با مقادیر مختلف بهره K می‌باشند. با توجه به اینکه مدت زمان شبیه‌سازی سیستم در این تحقیق ۱۰ ثانیه می‌باشد. با گام زمانی ۰/۰۰۲ ثانیه نمونه‌برداری از روی منحنی سرعت روتور ژنراتورهای سنکرون انجام می‌گیرد. تعداد نقاطی که در این مدت زمان انتخاب می‌شوند به این صورت بدست می‌آید:

$$n = {10s}/{0.002s} = 5000 \quad (۱۸)$$

در مدت زمان اجرای شبیه‌سازی به ازای مقدار مشخصی از بهره K تعداد ۵۰۰۰ نقطه از روی منحنی ژنراتور سنکرون ۱ و تعداد ۵۰۰۰ نقطه از روی منحنی ژنراتور سنکرون شماره ۲ انتخاب می‌شود و سپس توسط یک الگوریتم هوشمند مقدار تابع هدف مشخص می‌شود و این فرایند توسط الگوریتم هوشمند تا انتخاب مناسبترین مقدار برای بهره K جهت مینیمم کردن تابع هدف ادامه پیدا می‌کند.

۳-۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک روشی است برای بهینه‌سازی مسائل محدود و نامحدود که بر اساس فلسفه انتخاب اصلح در طبیعت بنا شده است. الگوریتم ژنتیک به صورت تکراری جمعیتی از راه‌حل‌ها را اصلاح می‌کند. در هر مرحله این الگوریتم تعدادی از افراد را به صورت تصادفی از جمعیت کنونی انتخاب می‌کند تا فرزندانی برای مرحله بعد باشند. در نسل‌های متوالی جمعیت به سوی راه‌حل بهینه پیش می‌رود. مکانیسم عملکرد این الگوریتم به این صورت است که در ابتدا یک راه‌حل برای مسئله مورد نظر که به صورت یک لیست از پارامترها نشان داده می‌شود که به آن کروموزوم یا ژنوم می‌گوییم. کروموزوم‌ها عموما به صورت یک رشته ساده از داده‌ها نمایش داده می‌شوند. سپس ارزش تناسب (Fitness) توسط تابع تناسب اندازه‌گیری می‌شود. گام بعدی ایجاد دومین نسل از جامعه است که بر پایه فرایندهای انتخاب (Selection) بر اساس عملگرهای ژنتیکی مانند ترکیب یا ادغام (Crossover) و جهش (Mutation) انجام می‌گیرد [۱۳]. انتخاب‌ها به‌گونه‌ای هستند که مناسبترین عناصر انتخاب شوند. ادغام مهمترین عملگر در الگوریتم ژنتیک است که در آن نسل قدیمی کروموزوم‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا نسل تازه‌ای از کروموزوم‌ها بدست آید. جهش نیز عملگر دیگری است که طی آن بعد از اینکه یک عضو در جمعیت جدید به وجود آمد هر ژن در آن جمعیت با احتمال جهش، جهش می‌یابد. فلوچارت الگوریتم ژنتیک در شکل ۹ مشاهده می‌شود.



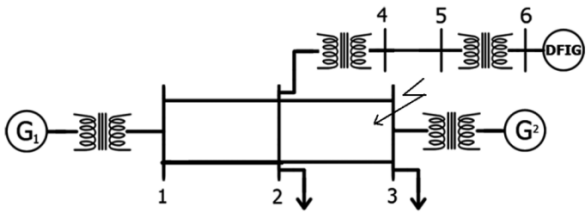
شکل (۹): فلوچارت الگوریتم ژنتیک

۴- نتایج شبیه‌سازی و بهینه‌سازی

مدل سیستم قدرت استفاده شده در این تحقیق یک سیستم قدرت چند ماشینه با دو ژنراتور سنکرون است که دیاگرام آن در شکل ۱۰ نشان داده شده است [۱۴]. نیروگاه بادی شامل ۶ واحد توربین بادی DFIG می‌باشد که توان تولیدی هر توربین بادی ۱/۵ مگاوات است. توان نامی نیروگاه بادی ۹ مگاوات می‌باشد که در حالت پایدار ۱/۵ مگاوات و ۰/۱۴ مگاوار این نیروگاه به شبکه تزریق می‌کند. ولتاژ خروجی ژنراتورهای بادی ۵۷۵ ولت می‌باشد که توسط یک خط انتقال ۲۰ کیلوولتی به طول ۰/۵ کیلومتر به سیستم قدرت متصل می‌شود. همچنین ولتاژ نامی شین های B1 ، B2 و B3 ، ۵۰۰ کیلوولت است. ولتاژ خروجی ژنراتورهای سنکرون نیز ۱۳/۸ کیلوولت و ظرفیت نامی

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.3.7]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

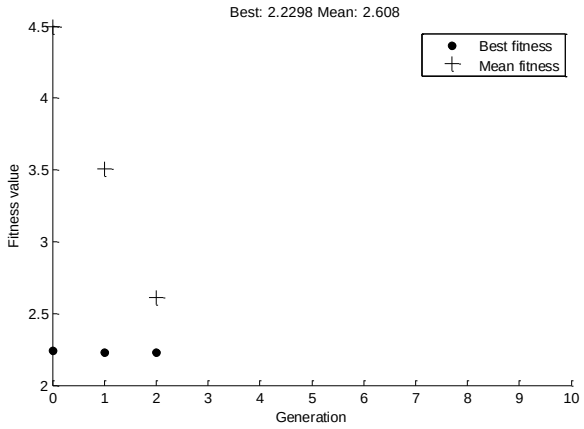
هر یک از آن‌ها ۷۵۰ مگاولت آمپر می‌باشد. طول هر یک از خطوط انتقال بین شین‌های B1 و B2 و B3، ۱۰۰ کیلومتر و ظرفیت پایه کل سیستم قدرت ۷۵۰ مگاولت‌آمپر است. بار موجود بر روی شین B2 یک بار اهمی- سلفی با مصرف توان اکتیو ۴۰۰ مگاوات و توان راکتیو ۲۳۴ مگاوار و بار موجود بر روی شین B3 یک بار اهمی- سلفی با توان اکتیو مصرفی ۵۰۰ مگاوات و توان راکتیو مصرفی ۱۶۰ مگاوار می‌باشد. اتصال کوتاه سه‌فاز متقارن بر روی شین B3 رخ می‌دهد و جبران‌سازهای توان راکتیو، (SVC و STATCOM) بر روی شین B2 نصب می‌شوند. ظرفیت هر دو جبران‌ساز ۷۵۰ مگاوار است.



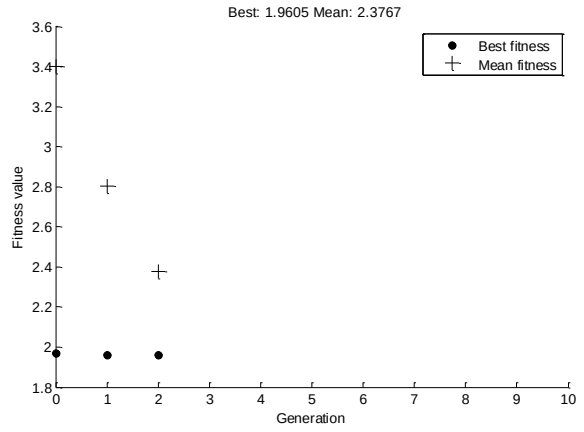
شکل (۱۰): دیاگرام سیستم قدرت مورد مطالعه

۴-۱- نتایج بهینه‌سازی

جهت اجرای فرایند بهینه‌سازی محدوده K_{svc} و $K_{statcom}$ بین ۱ تا ۱۰۰ انتخاب می‌شود. با وقوع خطا بر روی شین B3 ، مقدار تابع هدف SADI بدون حضور SVC و STATCOM ، ۲/۹۱۴۴ می‌باشد. پس از انجام فرایند بهینه‌سازی، مقدار بهینه K_{svc}، ۲۹/۵۷۱۳ بدست می‌آید که به ازای آن کمترین مقدار برای تابع هدف SADI، ۲/۲۲۹۸ است. مقدار بهینه $K_{statcom}$ نیز ۲۷/۵۷۱۳ بدست می‌آید که به ازای آن کمترین مقدار تابع هدف SADI ، ۱/۹۶۰۵ بدست می‌آید. با توجه به کمتر بودن مقدار تابع هدف با حضور STATCOM نسبت به SVC ثابت می‌شود که STATCOM در بهبود پایداری سرعت روتور نسبت به SVC عملکرد بهتری داشته است. در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نمودار بهترین مقادیر و میانگین مقادیر بدست‌آمده برای تابع هدف در نسل‌های متوالی به ترتیب با حضور SVC و STATCOM مشاهده می‌شود. از شکل ۱۱ و ۱۲ مشخص است که الگوریتم ژنتیک پس از گذشت ۲ نسل به مقدار بهینه می‌رسد. همچنین با توجه به شکل ۱۱ میانگین مقادیر بدست‌آمده برای تابع هدف در نسل‌های متوالی ۲/۶۰۸ و طبق شکل ۱۲ این مقدار با حضور STATCOM، ۲/۳۷۶ بدست می‌آید.



شکل (۱۱): بهترین مقادیر و میانگین مقادیر تابع هدف در حضور SVC



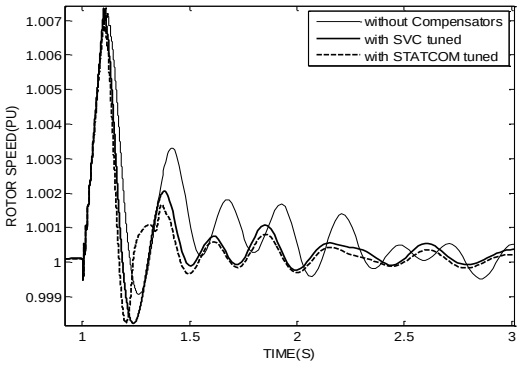
شکل (۱۲): بهترین مقادیر و میانگین مقادیر تابع هدف با حضور STATCOM

۴-۲- سرعت روتور ژنراتورهای سنکرون G1 و G2

نمودار سرعت روتور ژنراتور سنکرون G1 در شکل ۱۳ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که بدون حضور جبران‌ساز، دامنه نوسانات بسیار زیاد و همچنین ناپایداری سرعت روتور نیز پس از چندین ثانیه ادامه دارد. با حضور SVC دامنه نوسانات بسیارکاهش یافته و پس از ۲/۵ ثانیه نوسانات سرعت روتور میرا می‌شوند. با حضور STATCOM مشاهده می‌شود که در لحظات اولیه پس از رفع خطا دامنه نوسانات اولیه نسبت به SVC بسیار بهبود یافته و سرعت رسیدن به حالت پایدار نسبت به SVC بسیار بیشتر است. همچنین در طول مدت زمان خطا عملکرد بهتر STATCOM مشاهده می‌شود. سرعت عملکرد بهتر STATCOM نسبت به SVC در طول خطا و پس از رفع خطا به این دلیل است که مبدل منبع ولتاژ STATCOM دارای تاخیر متناظر با آتش تریستور نمی‌باشد. در صورتیکه برای یک SVC این تاخیر زمانی در حدود ۴ میلی‌ثانیه است. پس از نوسانات اولیه، هر دو

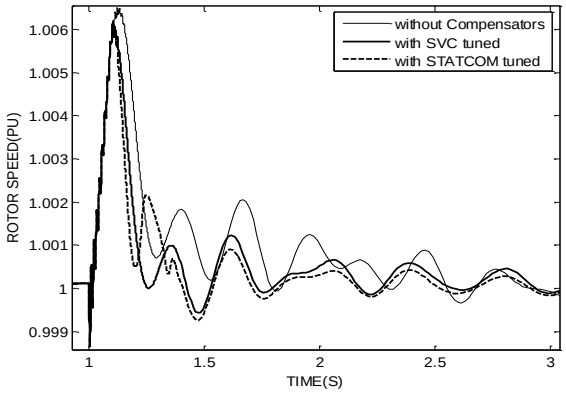
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.3.7]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012

جبران‌ساز تقریبا عملکرد برابری در بهبود پایداری سرعت روتور دارند. با این تفاوت که دامنه نوسانات با حضور STATCOM کاهش یافته است.



شکل (۱۳): سرعت روتور ژنراتور سنکرون G1

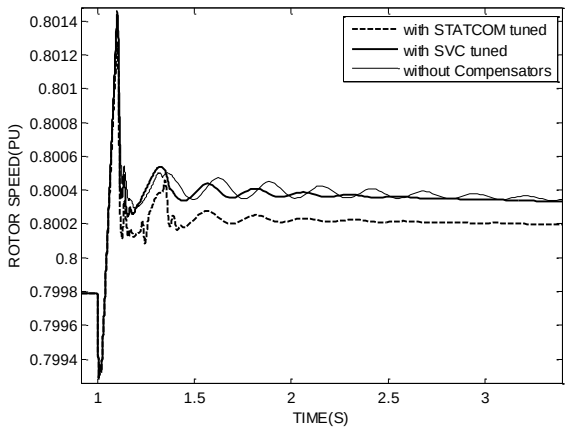
نمودار سرعت روتور ژنراتور سنکرون G2 در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود. در این حالت با وجود اینکه در نوسان اول، پس از رفع خطا SVC عملکرد بهتری دارد ولی پس از نوسانات اول، STATCOM پاسخ بهتر و سریعتری نسبت به SVC دارد. با حضور هر یک از جبران‌سازها پس از گذشت ۲ ثانیه نوسانات میرا می‌شوند. در صورتیکه این مدت زمان برای ژنراتور G1، ۲/۵ ثانیه می‌باشد.



شکل (۱۴): سرعت روتور ژنراتور سنکرون G2

۴-۳- سرعت روتور DFIG

همانطور که در بخش مدلسازی، توضیح داده شد. ژنراتورهای القایی از دوسوتغذیه دارای قابلیت کنترل توان راکتیو و کنترل ولتاژ در ترمینال‌های خود می‌باشند. مطالعات نشان داده هنگامی که DFIG در حالت کنترل توان راکتیو باشد نسبت به حالت کنترل ولتاژ، بهبود بیشتری در پایداری دینامیکی سیستم قدرت رخ می‌دهد [۱۵]. از این رو بررسی پایداری دینامیکی سیستم قدرت در این تحقیق با این فرض صورت گرفته است که سیستم کنترل DFIG بر روی حالت کنترل توان راکتیو تنظیم شده باشد. نمودار سرعت روتور ژنراتورهای القایی ازدوسوتغذیه موجود در نیروگاه بادی در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود.



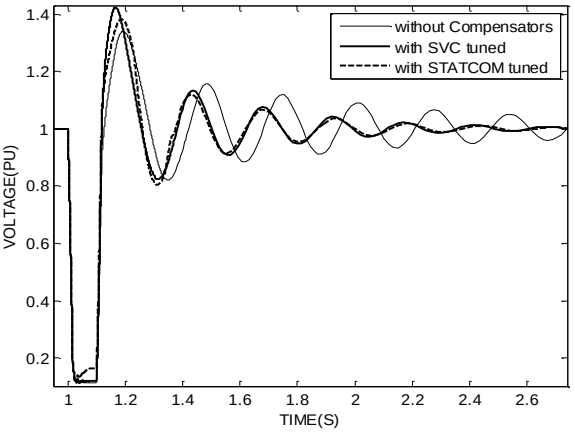
شکل (۱۵): سرعت روتور DFIG

سرعت روتور DFIG در حالت پایدار ۰/۸ پریونیت می‌باشد. با توجه به شکل فوق مشاهده می‌شود که بروز خطای اتصال کوتاه سه‌فاز در سیستم قدرت تاثیر چندانی بر روی سرعت روتور DFIG ندارد و دامنه این نوسانات بسیار کم و در محدوده ۰/۸۰۰۴ پریونیت است. با این وجود، با حضور SVC زمان میرایی و سرعت رسیدن به حالت پایدار بیشتر شده است همچنین دامنه نوسانات نیز کاهش یافته است. با حضور STATCOM مشاهده می‌شود که پایداری سرعت روتور DFIG بهتر از حالت SVC می‌باشد. و نوسانات سرعت روتور در محدوده ۰/۸۰۰۲ پریونیت می‌باشد.

۴-۴- ولتاژ خروجی نیروگاه بادی شامل DFIG

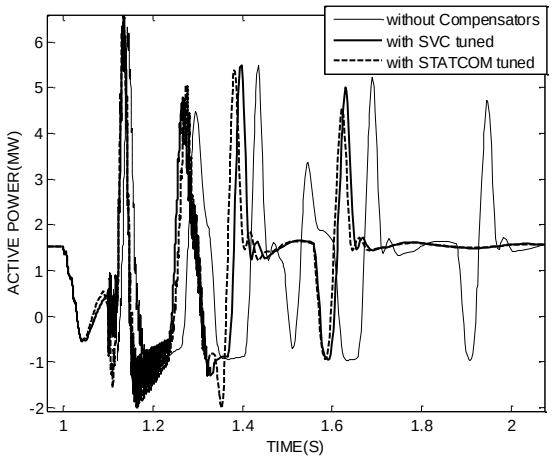
در شکل ۱۶ ولتاژ خروجی نیروگاه بادی نشان داده شده است. بدون حضور جبران‌سازهای موازی مشاهده می‌شود که نوسانات ولتاژ پس از گذشت ۲/۶ ثانیه هنوز در سیستم وجود دارند. حداکثر دامنه نوسانات نیز ۱/۴ پریونیت می‌باشد. با حضور SVC دامنه نوسانات و همچنین زمان رسیدن به حالت پایدار کاهش یافته است. با حضورSTATCOM مشاهده می‌شود که دامنه نوسانات در مقایسه با SVC کاهش یافته است. همچنین در طول مدت زمان خطا SVC تاثیر چندانی بر بهبود پایداری ولتاژ ندارد در حالی‌که با حضور STATCOM یک جهش در نوسان ولتاژ رخ می‌دهد و می‌توان گفت که در طول خطا STATCOM پاسخ سریعتری دارد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.3.7]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]



شکل (۱۶): ولتاژ خروجی نیروگاه بادی

۴-۵- توان خروجی نیروگاه بادی شامل DFIG

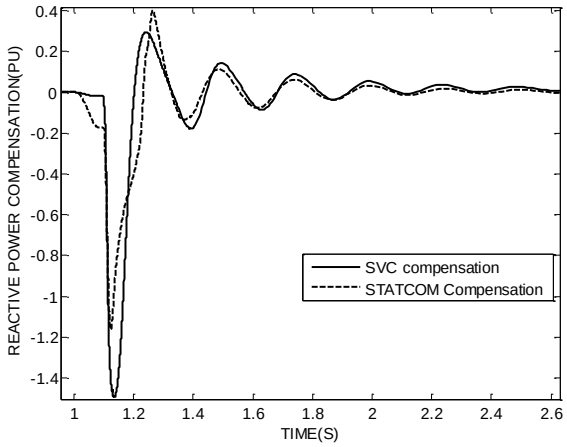


شکل (۱۷): توان خروجی نیروگاه بادی

در شکل ۱۷ توان خروجی نیروگاه بادی در حین اغتشاش و لحظاتی پس از اغتشاش مشاهده می‌شود. در حالت پایدار نیروگاه بادی ۱/۵۲ مگاوات توان الکتریکی به سیستم قدرت تزریق می‌کند. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که نوسانات توان اکتیو نیروگاه بادی پس از اغتشاش بدون حضور جبران‌سازها بسیار شدید می‌باشد و حداکثر دامنه این نوسانات ۶/۵ مگاوات است. با حضور جبران‌سازهای موازی مشاهده می‌شود که تعداد زیادی از نوسانات از بین رفته‌اند و دامنه نوسانات موجود در سیستم کاهش پیدا کرده است. همچنین زمان میرایی و زمان رسیدن به حالت پایدار نیز با حضور این ادوات کاهش پیدا کرده است. با توجه به شکل ۱۷ عملکرد بهتر STATCOM نسبت به SVC مشاهده می‌شود. با حضور STATCOM دامنه نوسانات نسبت به SVC کاهش و همچنین سرعت پاسخ سیستم افزایش پیدا کرده است. پس از گذشت ۱/۷ ثانیه از شروع شبیه‌سازی هر دو جبران‌ساز عملکرد مشابهی در بهبود پایداری نوسانات دارند.

۴-۶- میزان جبران‌سازی توان راکتیو توسط SVC و STATCOM

با توجه به شکل ۱۸ مشاهده می‌شود که پس از رفع خطا، میزان جبران‌سازی توان راکتیو توسط STATCOM کمتر از SVC می‌باشد و این درحالی است که با توجه به نتایج قبلی STATCOM نقش موثرتری در بهبود پایداری دارد. در نتیجه این جبران‌ساز با هزینه کمتر (میزان جبران‌سازی کمتر نسبت به SVC) در بهبود پایداری سیستم قدرت موثرتر است. در طول مدت زمان اغتشاش (۱S-۱/۱S) مشاهده می‌شود که SVC هیچگونه جبران‌سازی ندارد. در حالیکه STATCOM با مقداری جبران‌سازی در طول زمان خطا به کاهش نوسانات در حین خطا کمک می‌کند.



شکل (۱۸): میزان جبران‌سازی توان راکتیو توسط SVC و STATCOM

۵- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

با توجه به اینکه هدف از این تحقیق بهبود پایداری سیستم قدرت متصل به DFIG توسط جبران‌سازهای SVC و STATCOM می‌باشد. به منظور تنظیم بهینه پارامترهای کنترلی این ادوات و دسترسی به این پارامترها، روشی ارائه و سپس تابع هدف SADI به عنوان یک معیار مناسب جهت مینیمم شدن نوسانات معرفی شد. پس از انجام فرایند بهینه‌سازی مشخص شد که الگوریتم ژنتیک، سرعت عملکرد مناسبی در پیدا کردن جواب بهینه دارد. همچنین با حضور SVC مقدار تابع هدف ۲/۲۲۹۸ و با حضور STATCOM این مقدار ۱/۹۶۰۵ بدست آمد. بنابراین با توجه به کمتر بودن مقدار تابع هدف

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.3.7]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012

با حضور STATCOM ثابت می‌شود که این جبران‌ساز در بهبود پایداری سرعت روتور ژنراتورهای سنکرون عملکرد مناسبتری نسبت به SVC داشته است. با انجام شبیه‌سازی ثابت شد که خطاهایی مانند اتصال کوتاه که در مدت زمان کوتاهی برطرف می‌شوند تاثیر چندانی بر روی سرعت روتور ژنراتورهای بادی DFIG ندارند با این وجود STATCOM نسبت به SVC در بهبود پایداری سرعت روتور DFIG عملکرد بهتری دارد. پایداری سرعت روتور ژنراتورهای سنکرون نیز مورد بررسی قرار گرفت و ثابت شد که در طول زمان خطا و پس از رفع خطا STATCOM سرعت عملکرد مناسبتری در بهبود نوسانات، نسبت به SVC دارد و پس از آن هر دو جبران‌ساز در بهبود پایداری، عملکرد مشابهی دارند. پاسخ سریعتر STATCOM به این دلیل است که این جبران‌ساز بر پایه کانورتر منبع ولتاژ عمل می‌کند. بنابراین پاسخ گذرای سریعتری نسبت به SVC که بر پایه کلید زنی خازن‌ها و سلف‌ها عمل می‌کند دارد. پایداری توان خروجی نیروگاه بادی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و ثابت شد که در صورت بروز اغتشاش در سیستم قدرت نوسانات توان خروجی DFIG بسیار شدید می‌باشد و با حضور ادوات جبران‌ساز موازی این نوسانات به طرز مناسبی میرا می‌شوند. همچنین تاثیر بهتر STATCOM نسبت به SVC در بهبود پایداری توان یکی از نتایج بدست‌آمده در این قسمت بود. در نهایت ثابت شد که STATCOM در شرایط ظرفیت مشابه با SVC با وجود عملکرد بهتر و سریعتر در بهبود پایداری سیستم قدرت، جبران‌سازی کمتری دارد.

مراجع

[1] S. Muller, M. Deike and R. W. D. Doncker, "*Doubly Fed Induction Generator Systems*", IEEE Industry Applications Magazine, Vol. 8, No. 3, pp. 26-33,2002.

[2] V. Akhmatov, H. Knudsen, A. H. Nielson, J. K. Pederson and N. K. Poulsen, "*Modelling and Transient Stability of Large Wind Farms*", Int J Electric Power Energy Syst, Vol. 25, No. 2, pp. 123-144, 2003.

[3] M. Nikzad, S. Shams, M. Ghasemi, M. Bigdeli and A. Javadian, "*Effect of Static Var Compensator Tuned Based on Genetic Algorithm on Voltage Support Improvement*", American Journal of Scientific Research, Vol. 24, pp. 93-102, 2011.

[4] J. P. A. Vieira, M. V. A. Nunes and U. H. Bezarra, "*Using Genetic Algorithm to obtain Optimal Controllers for the DFIG Converters to Enhance Power System Operational Security*", IREP Symposium - Bulk Power System Dynamics and Control, 1-6 August 2010, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 120-131.

[5] L. Xu, L. Yao and C. Sasse, "*Comparison of Using SVC and Statcom for Wind Farm Integration*", International Conference on Power System Technology", 22-26 October 2006, Chongqing, China, PP. 700-707.

[6] J. Ravishankar and M. F. Rahman, "*Dynamic Compensators for Grid Connected Wind Farms*", International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems, 22-23 December 2010, New Delhi, India, pp. 27-32.

[7] J. P. Therattil and P. C. Panda, "*Dynamic Stability Enhancement Using Self-Tuning Static VAR Compensator*", 2010 Annual IEEE India Conference, 17-19 December 2010, Kolkata, India, pp. 265-273.

[۸] م. کراری، **دینامیک و کنترل سیستم‌های قدرت**، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ص ۳۱ تا ۷۴، ۱۳۸۲.

[۹] س. افشارنیا، ا. واحدی، **مدلسازی و شبیه‌سازی دینامیکی ماشین‌های سنکرون با استفاده از MATLAB/SIMULINK**، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۲۰۹ تا ۲۲۴، ۱۳۸۴.

[10] T. Ackermann, *Wind Power in Power Systems*, John Wiley & Sons, pp. 525-602, 2005.

[۱۱] ع. کتابی، ا. صادق‌خانی، **شبیه‌سازی سیستم‌های قدرت با استفاده از نرم‌افزار MATLAB**، انتشارات مرسل، ص ۶۳۷ تا ۶۵۵، ۱۳۹۰.

[12] M. Mohammadi, M. Gitizadeh and A.Roosta, "*Dynamic Stability Improvement of a Power System Incorporating DFIG Wind Power Plant Using Optimized Control Parameters of a SVC*", 2012 IEEE International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2012), 6-7 June 2012, Melaka, Malaysia, pp. 416-421.

[13] L. H. Randy, E. H. Sue, *Practical Genetic Algorithms*, Second Edition, John Wiley & Sons, pp. 220-250, 2004.

[14] M. Mohammdi, A. Alessadi and M. Parhoodeh, "*Optimization of DFIG Control Parameters Using ITAE Criterion*", 27th International Power System Conference (PSC2012), 12-14 November, Tehran, Iran.

[۱۵] م. محمدی، م. گیتی‌زاده و ع. روستا، **" ارائه روشی جهت تنظیم بهینه پارامترهای کنترلی SVC به منظور بهبود پایداری نیروگاه بادی شامل ژنراتور القایی از دوسوتغذیه"**، اولین کنفرانس ملی مهندسی برق اصفهان (مجلسی)، ۱۲ الی ۱۳ مهرماه ۱۳۹۱، اصفهان، ایران.

رزومه



مرتضی محمدی در استان فارس، شهرستان فراشبند متولد شده است (۱۳۶۳). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون (۱۳۸۸) و کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول (۱۳۹۱)

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.3.7]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012

سپری نموده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه نیروگاه‌های بادی مدرن، دینامیک و کنترل سیستم‌های قدرت و ادوات FACTS است.



محسن گیتی‌زاده در شیراز متولد شده است (۱۳۵۵). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع مهندسی برق - قدرت از دانشگاه شیراز (۱۳۷۸) و کارشناسی‌ارشد مهندسی برق - قدرت و دکترای مهندسی برق - قدرت (۱۳۸۰ و ۱۳۸۸) از دانشگاه علم و صنعت ایران سپری کرده است. ایشان هم‌اکنون به عنوان استادیار در دانشگاه صنعتی شیراز مشغول به فعالیت می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت، ادوات FACTS و بهینه-سازی سیستم‌های قدرت می‌باشد.



جمشید آقایی تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی برق - قدرت به ترتیب در سال های ۱۳۸۲، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۹ از دانشگاه علم و صنعت ایران سپری کرده است ایشان هم‌اکنون به عنوان استادیار در دانشگاه صنعتی شیراز مشغول به فعالیت می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS ، بازار برق، تجدید ساختار و بهینه سازی سیستم های قدرت می‌باشد. ایشان از اعضای انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران (IAEE) می باشند.



علیرضا روستا در شیراز متولد شده است. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع مهندسی برق-کنترل و کارشناسی ارشد برق-کنترل در دانشگاه تهران و دکترای مهندسی برق- قدرت در دانشگاه فرانسه سپری نموده است. ایشان هم‌اکنون به عنوان استادیار در دانشگاه صنعتی شیراز مشغول به فعالیت می‌باشند. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه پایداری و کنترل سیستم قدرت و تاثیر DG بر سیستم‌های قدرت است.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.3.7]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.3.7]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]