

تنظیم سطح بارگذاری یک واحد تولیدی بادی در مطالعات مربوط به پایداری در

برنامه ریزی سیستم قدرت

چکیده

در مطالعه پایداری در برنامه‌ریزی سیستم قدرت با محوریت یک واحد تولیدی بادی خاص (WPP)، این واحد در شرایط توزیع بار کامل در خروجی عمل می‌کند. انتظار می‌رود که پاسخ دینامیکی تأثیر چندانی از بارگذاری WPP های نزدیک نگیرد. به منظور بررسی اعتبار این روش و نیز درک بهتر اثر متقابل سطوح بارگذاری WPP های نزدیک روی پاسخ‌های دینامیکی در مقابل خطاهای سیستم قدرت، چهار مورد مطالعه‌ای با مناطق محلی مختلف و تجهیزات ژنراتور توربین بادی (WTG) متفاوت به کار رفته است. شبیه‌سازی‌های خطا روی پایگاه‌های داده سیستم قدرت واقعی و بزرگ صورت گرفته است. علی‌رغم اینکه بیشتر مطالعات عددی این روش را تأیید کرده‌اند اما برخی دیگر از مطالعات اظهار داشته‌اند که این روش لزوماً شرایط پایدار را نتیجه نمی‌دهد. تحلیل نوع دیگری از EMPT لازم است. ضمناً و به خصوص زمانی که مطالعه برنامه‌ریزی، مشکلات مربوط به پایداری یک WPP را مشخص می‌کند، و یا توانایی گذر از خطا برای سیستم مشخص می‌گردد، ترکیب‌های بیشتری از سطوح بارگذاری WPP می‌بایست مورد ارزیابی قرار گیرد.

عبارت‌های شاخص: پایداری سیستم قدرت، ژنراتور توربین بادی، واحد تولیدی بادی، پاسخ دینامیکی، قابلیت گذر

از خطا

1. مقدمه

انرژی باد به یکی از فناوری‌های انرژی جایگزین با سرعت پیشرفت بالا بدل شده است. در مطالعات برنامه‌ریزی سیستم قدرت، ارزیابی پایداری برای کی واحد تولیدی بادی جدید (WPP) بر اساس شبیه‌سازی‌های رویدادهای احتمالی در حوزه زمان صورت می‌گیرد. سناریوهای مختلف در این مطالعات اغلب شامل خطاهای اتصال کوتاه است که از نظر مکان، نوع و روند رفع خطا با هم متفاوت هستند. به منظور اجرای شبیه‌سازی‌ها، برنامه‌های نرم‌افزاری توالی مثبت به کار می‌رود، که در آن‌ها، مدل‌های ساده شده‌ای از (پایداری) دینامیکی و ژنراتور توربین بادی (WTG) برای مطالعات پایداری گذرا استفاده می‌شود. اطلاعات حیاتی پیرامون توسعه و اعتبار چنین مدل‌های WTG را می‌توانید در مراجع [1] تا [3] بیابید.

با معلوم فاکتورهای متعددی که روی پاسخ دینامیکی WPP اثر می‌گذارند و از سوی دیگر، این حقیقت که نتیجه‌گیری‌های مطالعات برنامه‌ریزی را می‌توان بر اساس تعداد محدودی از شبیه‌سازی‌ها به دست آورد، نقش روش مطالعه نمایان می‌شود. در حالت خاص، شبیه‌سازی‌های رویدادهای احتمالی می‌بایست روی یک مجموعه نمایشی از حالت‌های پخش توان صورت گیرد که بازگوکننده شرایط مختلف بار و سناریوهای مختلف توزیع توان تولیدی است. اغلب، شرایط بار کم و زیاد فصلی، شرایط نرمال و شرایط تحت استرس برای سیستم قدرت فرض می‌گردد.

زمانی که مطالعه پایداری به منظور برنامه‌ریزی روی یک WPP ی خاص تمرکز می‌کند، این واحد در شرایط خروجی کامل برنامه‌ریزی می‌گردد که اغلب تصور می‌شود که از نظر عملکرد پایداری، با بیشترین محدودیت مواجه است. زمانی که یک WPP ی دیگر در نزدیکی این واحد قرار داشته به خصوص، زمانی که از یک نقطه اتصال مشترک (POI) استفاده می‌کنند، احتمال بالقوه بروز اثرات دینامیکی متقابل می‌بایست مورد ارزیابی قرار گیرد. به عنوان مثال، بررسی کنترل متقابل بین چندین WPP که از نظر الکتریکی در نزدیکی هم قرار دارند، نشان می‌دهد که تنظیم‌کننده‌های ولتاژ در آن‌ها می‌بایست با هم هماهنگ شوند. با این وجود، پاسخ دینامیکی WPP معمولاً انتظار می‌رود که با بارگذاری WPP های مجاور تأثیر چندانی نپذیرد. از این رو، بارگذاری این واحدها معمولاً بر اساس منطق توزیع توان سیستم، سطوح پخش توان مطلوب و غیره تعیین می‌شود.

مطالعات شبیه‌سازی این نکته را آشکار کرده است که این روش لزوماً شرایط پایدار مطلوب را نتیجه نمی‌دهد که همین مسئله انگیزه‌ای برای این تحقیق است. در حالت خاص، فرض خروجی کامل لزوماً تضمین‌کننده بدترین حالت عملکرد پایداری یک WPP نبوده و از این رو، شرایط عملیاتی بیشتری می‌بایست شبیه‌سازی شود تا به درستی قابلیت گذر از خطا (FRT) را در یک WPP ارزیابی نماید. روش تشریح شده برای تنظیم سطوح بارگذاری WPP های مجاور نیز به اصلاحات بیشتری نیاز دارد.

این مقاله در مورد تنظیم سطوح بارگذاری یک WPP و اثر متقابل سطوح بارگذاری WPP های مجاور روی پاسخ‌های دینامیکی در مقابل خطاهای نزدیک بحث می‌کند. بررسی این مسئله بر اساس چهار مورد مطالعه‌ای با مناطق مختلف محلی و تجهیزات WTG ی گوناگون انجام می‌گیرد. شبیه‌سازی‌های خطا با برنامه نرم‌افزاری Siemens PTI PSS/E روی پایگاه‌های داده سیستم قدرت بزرگ واقعی که توسط اپراتور سیستم قدرت مستقل نیویورک (NYISO) جمع‌آوری شده است، صورت می‌گیرد. از آنجایی که مدل‌های WTG به منظور مطالعات پایداری قادرند رفتار مشکوکی را از خود نشان دهند، این مقاله ویژگی‌های مدل را که برای شبیه‌سازی بارهای جزئی WTG ها ضروری است، در نظر می‌گیرد.

این تحقیق بخشی از فعالیت‌های NYISO است که به منظور تضمین کیفیت بالای مطالعات مربوط به تولیدات بادی صورت گرفته است.

2. روش مطالعه

در اصل، بررسی این تحقیق بر اساس تعداد زیادی از مطالعات عددی روی مجموعه نمایی از حالت‌های شبکه با پروژه‌های واقعی WPP که از تجهیزات WTG ی مختلف بهره می‌گیرند، صورت گرفته است.

A. منطقه محلی

در این جا، یک منطقه محلی از سیستم قدرت به صورت یک زیرسیستم نسبتاً کوچک از و آن تعریف شده است که شامل سه WPP ی نزدیک به هم است (WPP-1, WPP-2 و WPP-3) که اثر متقابل آن‌ها بررسی شده است. یک دیاگرام شماتیکی از یک منطقه محلی در شکل 1 نشان داده شده است. این ساختار تنها یک نمونه است. توجه داشته باشید که خطوط انتقال به صورت مستقیم WPP-2 را به دو WPP ی دیگر متصل می‌کند که تنها در مورد مطالعه‌ای CS#1 ارائه شده است.

از نظر اندازه، یک منطقه محلی شامل المان‌های سیستمی است که تنها چند باس در نزدیکی POI ها در این سیستم واقع شده است (کوتاه‌ترین مسیرها را برای خطوط انتقال در نظر بگیرید و دو ترانسفورماتور را فرض کنید اما هیچ ترانسی برای شاخه‌های امیدانس صفر که بیانگر مدارشکن‌ها هستند فرض نکنید). بیشتر WPP های مورد مطالعه در این تحقیق در مقایسه با [4] از نظر فاصله، دارای فاصله الکتریکی زیادی از همدیگر هستند. تجهیزات توان رآکتیو در منطقه محلی، شامل تجهیزات شنت سوئیچ شده، به صورت «as-is» مدل شده‌اند. علی‌رغم این که تنظیمات آن‌ها می‌تواند روی حالت‌های گذرا اثر داشته باشد، تحلیل این اثرات در محدوده این تحقیق نمی‌گنجد.

B. WPP های نزدیک

برای بیشتر WPP های مورد نظر، نسبت توان اکتیو (ظرفیت) P_r در محدوده ده‌ها مگاوات است (اما $P_r < 150$ MW). تمامی مقادیر نسبت اتصال کوتاه بالاتر از 5 است. هر $j = 1, 2, 3$ (WPP-j) دربرگیرنده WTG های یکسان است. ترانسفورماتورهای کلکتور اصلی دارای ولتاژ نامی برابر 115/34.5 kV و یا 230/34.5 می‌باشند. هیچ یک از WPP ها دارای منبع توان رآکتیو در سطح خود واحد نیستند (نظیر STATCOM). در شکل 1 هر WPP به صورت یک WTG ی معادل نشان داده شده است. با این وجود، در بیشتر شبیه‌سازی‌ها، یک WPP با تعدادی از WTG های معادل که متناسب با دسته‌های کلکتور حقیقی هستند نشان داده می‌شوند (همانند آنچه که در پایگاه‌های داده NYISO مدل شده است).

C. تجهیزات WTG و مدل‌سازی آن‌ها

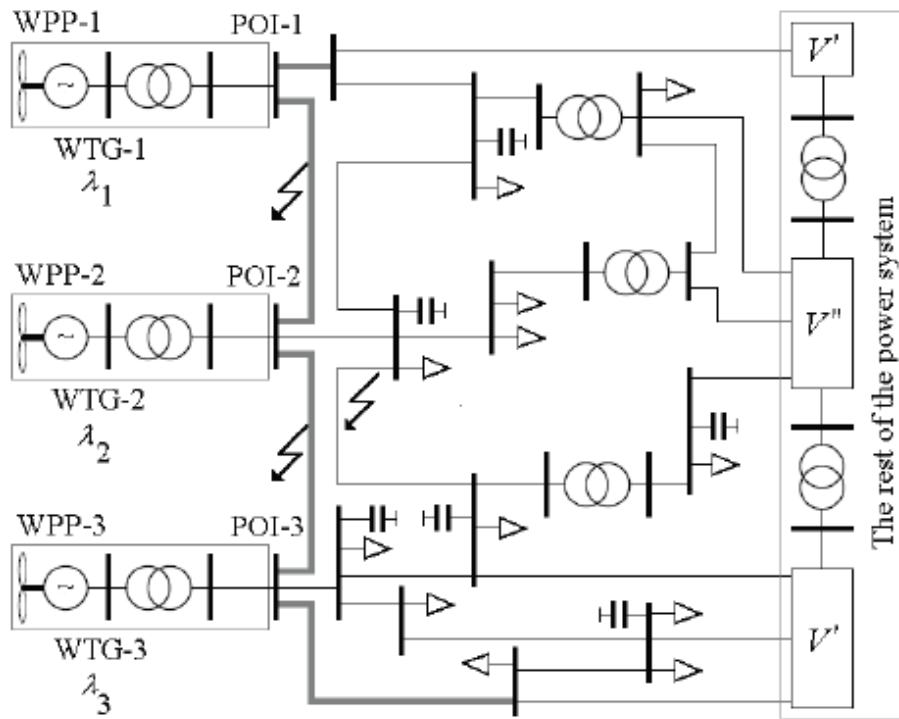
در مطالعات برنامه‌ریزی NYISO، بیش از دوازده تجهیز WTG ی مختلف (از WECC ی انواع 1 تا 4) تحت مطالعه قرار گرفته‌اند. لیست سازنده‌ها به قرار زیر است اما محدود به همین شرکت‌ها نیست، Clipper, Gamesa, Vestas و GE Energy, Nordex, REpower, Siemens, Suzlon. مطالعات عددی در این مطالعه وابسته به تعداد این تجهیزات می‌باشد.

علی‌رغم این که بیشتر WTG های مورد نظر بر اساس مدل‌های خاص شرکت‌ها بیان شده‌اند (که توسط سازنده‌های تجهیزات ارائه شده است)، اما برای سایر WTG ها، مدل‌های موجود در کتابخانه PSS/E Wind به کار رفته است. به جز دو استثنا، هیچ سیستم کنترل سطح واحدی ارائه نشده است که دلیل اصلی و آن نیز عدم وجود ابزارهای شبیه‌سازی است.

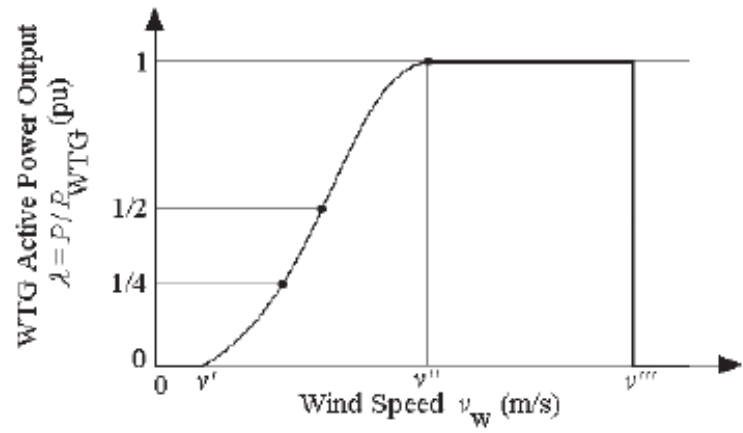
D. علامت‌گذاری سطوح بار WPP

به منظور ساده‌سازی، سطوح بار بررسی شده برای WPP-j به صورت $P_j = Pr_j/n_j$ تعریف شده‌اند که در آن $j = 1, n_j = 2$ و یا $n_j = 4$ به عبارت دیگر، تنها خروجی‌های توان اکتیو مشخص شده توسط پارامتر $\lambda_j = P_j/Pr_j = 1/n_j$ در نظر گرفته شده است. نسبت Pr_j مربوط به WPP-j به صورت یک نسبت توان اکتیو مربوط به WTG های منفرد تعریف شده است که در تعداد WTG ها ضرب شده است.

شکل 2 سطوح بار λ_j ، $\lambda_j = 1/2$ ، $\lambda_j = 1$ را با استفاده از یک منحنی نمونه از WTG $P(v_w)$ نشان می‌دهد. در این جا، P بیانگر توان اکتیو خروجی از یک WTG ی خاص تحت شرایط حالت دائم سرعت باد v_w است. v ، v'' و v''' نیز به ترتیب مقادیر سرعت کات این، سرعت نامی و سرعت کات اوت هستند.



شکل 1. دیاگرام شماتیکی یک منطقه محلی با سه WPP. ولتاژهای اسمی سیستم قدرت اصلی (نظیر V , V') تقریباً 115 kV و 230 kV هستند. المان‌های دارای ولتاژهای نامی کمتر نیز فرض شده‌اند اما ترسیم نشده‌اند. فلش‌های خطر مکان‌های خطا را مشخص می‌کنند. مدارهای ترسیم شده به صورت خطوط خاکستری درشت، بیانگر خطوط انتقال هستند که طول آن‌ها می‌تواند تغییر کند (بخش III.D) را ببینید.



شکل 2. سطوح بارگذاری λ نشان داده شده روی منحنی توان WTG نمونه

خروجی جزوی با $n_j = 2$ و یا $n_j = 4$ را می‌توان حداقل به دو روش به دست آورد: با توزیع تمامی WTG های یک WPP در سطح $n_j/1$ و یا با حفظ آنلاین $n_j/1$ WTG ی توزیع شده در شرایط خروجی کامل. به منظور انجام این مطالعه، تنها موقعیت اول در نظر گرفته شده است.

بر اساس عملکرد تحت شرایط خروجی کامل ($n_j = 1$): در حالت کلی، اگر سرعت باد v_w بین مقادیر خروجی نامی v و سرعت کات اوت v باشد، در این صورت اختلاف مختصری بین پاسخ دینامیکی WP بسته به سرعت دقیق باد وجود خواهد داشت. اما انتظار می‌رود که مدل‌های پایداری WTG ی اعمال شده نتوانند این پدیده را به وجود آورند.

از نقطه نظر پخش توان PSS/E، قابلیت توان رآکتیو یک WTG ی معادل توزیع شده در سطح λ به گونه‌ای تنظیم می‌شود که ضریب قدرت در ترمینال‌های WTG بین $+0.95$ و -0.95 باشد (به جز برای تجهیزاتی که در مود ضریب قدرت ثابت عمل می‌کنند).

E. معیار ارزیابی

در ارزیابی نتایج شبیه‌سازی رویدادهای احتمالی، مشخصه‌های زیر در پاسخ دینامیکی WPP در نظر گرفته شده‌اند: مودهای نوسانی اصلی (میرا سازی و فرکانس این مودها)، ماکزیمم تغییرات متغیرها، زمانی که طول می‌کشد که حالت گذرا رفع شود، و قابلیت رسیدن به حالت دائمی پیش از رویداد احتمالی. از نظر قابلیت FRT ی WPP، رویدادهای تریپ شدن در مرکز توجه قرار دارند.

3. سازمان‌دهی شبیه‌سازی‌ها

برای هر مورد مطالعه‌ای، مطالعات عددی شامل شبیه‌سازی‌هایی با حداقل دو مکان خطا و زمان رفع خطای T_c بیش از 30 سیکل فرکانس اصلی (60 Hz) می‌شود.

A. بارگذاری WPP های نزدیک

ترکیبی از سطوح بارگذاری WPP ها در یک منطقه محلی با بردار رشته عددی $[\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3]$ مشخص شده و پس از آن نیز با سه عدد $\Lambda = 100n_1 + 10n_2 + n_3$ مشخص می‌گردد. به عنوان مثال، $\Lambda = 124$ به این معنی است که به این معنی است که WPP-1 در شرایط خروجی کامل است و WPP-2 و WPP-3 نیز به صورت $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{4}$ P_{rj} بارگذاری شده‌اند. اگر $\lambda_j = 0$ در تعداد Λ باشد، WPP ی متناظرش آفلاین است.

B. رویدادهای احتمالی

هر سناریوی رویداد احتمالی شامل یک خطای سه فاز به زمین در مجاورت EPP (یکی از WPP ها) است که با تریپ زدن یک خط انتقال، (قطع خط انتقال) رفع می‌شود. خطا یا در نزدیکی و یا روی POI ی WPP رخ می‌دهد و یا اینکه روی یک یا دو باس POI اتفاق می‌افتد. تمامی خطاها در زمان $t=1$ s اعمال می‌شود. به خاطر تلفات کلکتور WPPT مقدار P/P_{rj} کمی با λ_j در لحظه $t=0$ و باره زمانی شبیه سزای $[0 \ 1]$ Δt متفاوت است.

C. نقش پاسخ عددی

برخی از مدل‌های PSS/E WTG به ترکیب اندازه گام‌های زمانی τ حساس هستند. در این مطالعه، یکی از WPP ها با گام زمانی کمتر τ تریپ می‌کند در حالی که با مقادیر کمی بزرگ‌تری از τ آنلاین باقی می‌ماند. به منظور انجام مطالعات عملی، حساسیت به τ به منظور تضمین این مورد که تنظیم τ روی نتایج شبیه‌سازی اثر منفی نداشته باشد، بررسی می‌گردد.

D. تنظیمات شبکه

به منظور ارزیابی اثر فواصل الکتریکی میان WPP ها، امپدانس سری Z و سوسپتانس شارژ B در خطوط انتقال به این صورت در نظر گرفته می‌شود، $Z = \kappa Z^*$ و $B = \kappa B^*$ که در و آن، Z^* و B^* بیانگر داده‌های واقعی و κ نیز یک پارامتر است.

4. شبیه‌سازی‌ها: موردها مطالعه‌ای

این بخش چهار مورد مطالعه‌ای را تشریح کرده و نمودارهای شبیه‌سازی نمونه را ارائه می‌کند. خلاصه‌ای از نتایج در بخش 5 ارائه می‌گردد. یک مجموعه بزرگ از داده‌های سیستم قدرت NYISO و WPP ها تحت دسته‌بندی CELL قرار گرفته‌اند. به دلیل مسائل اعتمادی، برای در نظر گرفتن تجهیزات WTG نه سازنده‌ها و نه مدل‌های دینامیکی قابل ارائه نیستند. از این رو، تنها اطلاعات کلی برای چهار منطقه محلی و WPP ها ارائه شده است. WTG ها و مدل‌های آن‌ها نیز با حروف A تا E نمایش داده شده‌اند.

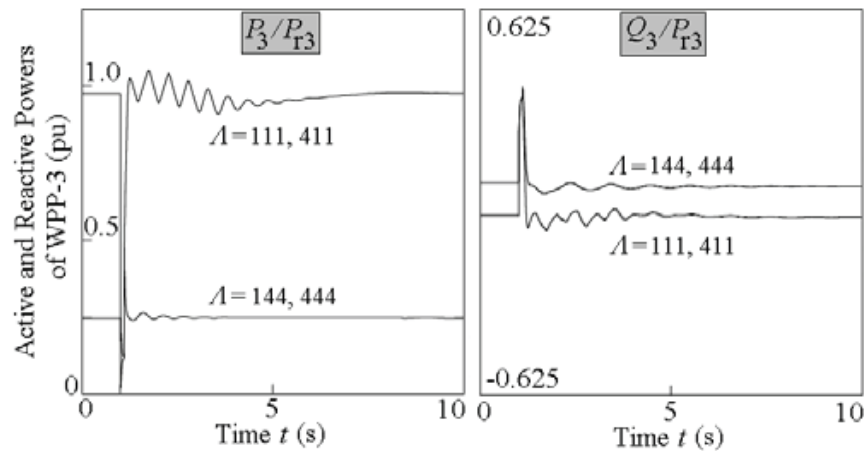
A. مورد مطالعه‌ای CS#1

در این حالت، سه WPP از WTG ی یکسان نوع A یعنی WTGA استفاده می‌کنند. POI ها همانند شکل 1 متصل شده‌اند به جز برای حالتی که POI ی WPP-2 دارای هیچ ارتباط مجازی با بخش‌های دیگر سیستم قدرت و خطوط مرتبط با WPP-1 و WPP-3 نباشد. شکل 3 و 4 پاسخ‌های دینامیکی WPP-1 و WPP-3 را نشان می‌دهند.

به این خاطر که دو خط، متصل‌کننده POI-2 و POI-1 و POI-3 در این منطقه محلی است، چگونگی تأثیر طول‌های این دو خط روی حالت‌های گذرا جالب‌توجه است. برای شرایط بروز خطا POI-2، شکل 4 اثر خطوطی که در شکل 1 ترسیم شده‌اند را به صورت خطوط خاکستری درشت نشان می‌دهد (به ازای $\kappa = 1$ ، $\kappa = 0.5$ و $\kappa = 2$).

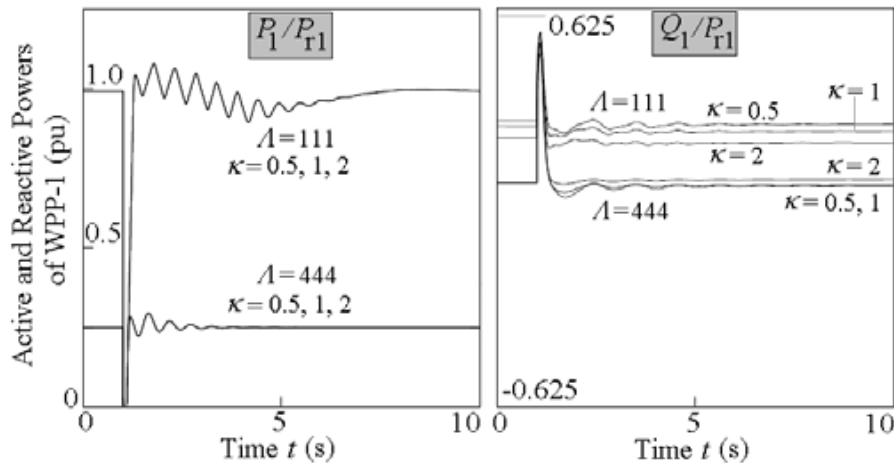
B. مورد مطالعه‌ی CS#2

در این مرحله، سه WPP از تجهیزات WTG ی متفاوت استفاده می‌کنند: WTGB (نوع 4) در WPP-1، WTGA (نوع 3) در WPP-2 و WTGC (نوع 4) در WPP-3. تعداد باس‌های میان سه POI بین 2 و 5 است. شکل‌های 5 و 6 پاسخ‌های دینامیکی WPP-1 را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که حالت‌های گذرای WPP-2 خیلی شبیه مورد مطالعه‌ی CS#1 (با WTGA) می‌باشد.



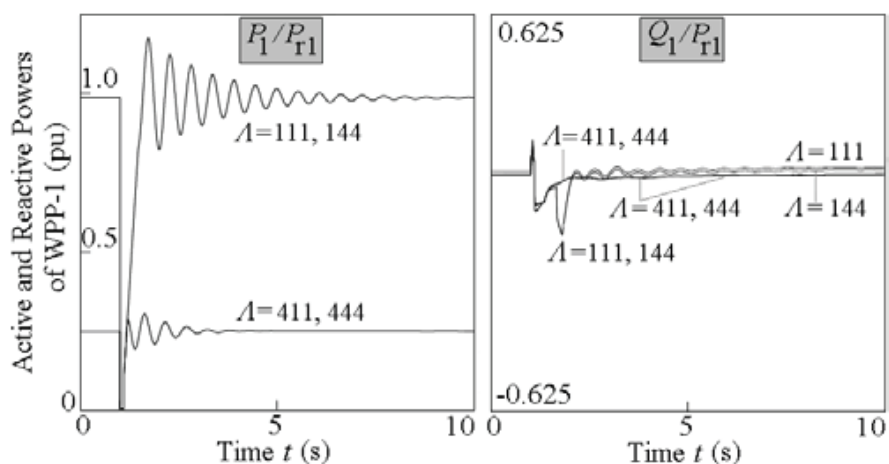
شکل 3. پاسخ WPP-3 به خطای روی باس، در فاصله‌ی دور از POI-1 در CS#1، $T_c=6$ سیکل، ترکیب‌های

بارگذاری مختلف Λ



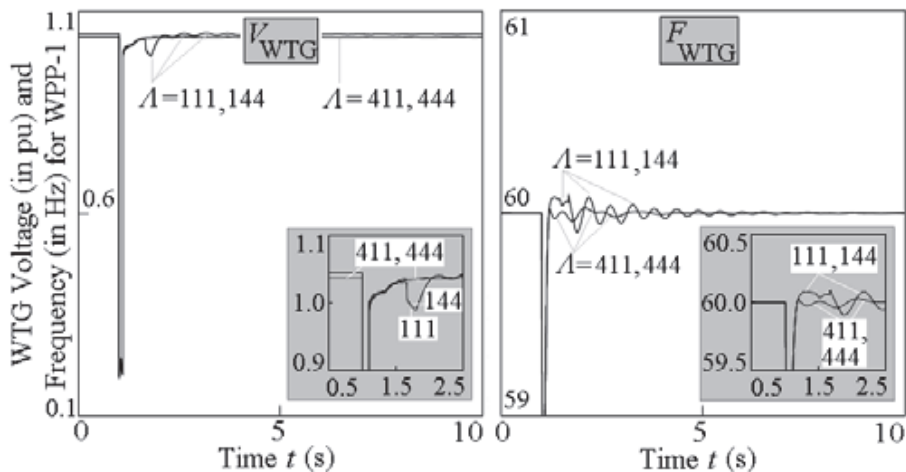
شکل 4. پاسخ WPP-1 به خطای روی باس، در فاصله‌ی دور از POI-2 در CS#1، $T_c=6$ سیکل، ترکیب‌های

بارگذاری مختلف Λ و طول‌های خط انتقال κ



شکل 5. پاسخ WPP-1 به خطای روی باس، در فاصله‌ای دور از POI-1 در CS#2، $T_c=6$ سیکل، ترکیب‌های

بارگذاری مختلف Λ



شکل 6. پاسخ WTG در WPP-1 به خطای روی باس، در فاصله‌ای دور از POI-1 در CS#2، $T_c=6$ سیکل،

ترکیب‌های بارگذاری مختلف Λ (با پنجره‌های زوم شده)

C. مورد مطالعه‌ای CS#3

در این جا، سه WPP از تجهیزات WTG ی مختلف استفاده می‌کنند. WTGC (نوع 3) در WPP-1، WTGD (نوع 1) در WTGA، WPP-2 (نوع 3)، WPP-3 و WPP-1 از 3 POI استفاده می‌کنند، در حالی که POI-3 به اندازه 5 باس دورتر است. شکل‌های 7 و 8 پاسخ‌های دینامیکی WPP-1 و WPP_3 را به

ازای یک خطای POI-3 در نزدیکی WPP نشان می‌دهد. در این خطا، WPP_3 با سطح بارگذاری $\lambda_3 = 1/2$ و $\lambda_3 = 1/4$ در لحظه $t=t_{trip}$ تریپ کرده در حالی که با خروجی کامل، WPP_3 آنلاین باقی می‌ماند. در مقابل، WPP-1 تریپ نخواهد کرد.

در شکل 8، به ازای $\lambda_3 = 1/2$ و $\lambda_3 = 1/4$ ($\Lambda=114\Lambda=112$)، $Q_3 \neq 0$ است به شرطی که $t > t_{trip}$ باشد در حالی که این بدان معنی است که خروجی توان رآکتیو مدل WTGA پس از تریپ زدن، صفر نیست. نکته قابل توجه این است که WPP_3 از همان WTGA استفاده می‌کند که در مورد مطالعه‌ای CS#1 تمامی WPP ها از آن استفاده کرده‌اند. ضمناً، هیچ تریپی در CS#1 مشاهده نمی‌شود.

D. مورد مطالعه‌ای CS#4

از این مرحله، WPP ها از همان WTG ی WTGE (نوع 3) استفاده می‌کنند. POI-3 به اندازه 4 باس دورتر از POI-1 است. شکل‌های 9 و 10 پاسخ‌های دینامیکی WPP-1 و WPP-3 را نشان می‌دهد. در این مورد مطالعه‌ای، WPP-3 با $\lambda_3 = 1/4$ ($\Lambda=404$)، برای $T_c=26$ سیکل (در لحظه $t=t_{trip}$) تریپ می‌کند برخلاف دو WPP ی دیگر.

شکل 10 نیز اثر طول خطوط انتقال را در کوتاه‌ترین مسیر بین WPP-1 و WPP-3 نشان می‌دهد (به ازای $\kappa = 0.5$ و $\kappa = 1$). با $T_c=24$ سیکل، (زمانی که هیچ تریپی رخ ندهد) P1 به شدت به ازای ترکیب بارگذاری $\Lambda=101$ به κ بستگی دارد در حالی که به ازای $\Lambda=404$ اثر و آن قابل چشم‌پوشی است. با $T_c=26$ سیکل، (زمانی که WPP-3 تریپ می‌کند)، اثر κ روی P3 در هر حالتی قابل چشم‌پوشی است.

5. خلاصه نتایج شبیه‌سازی

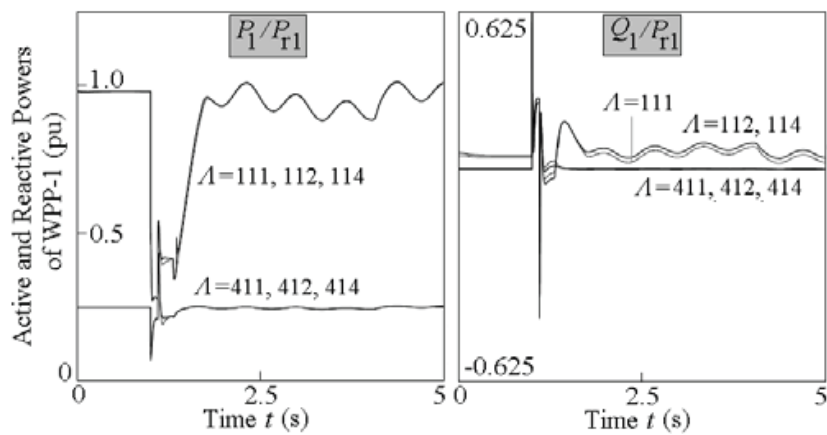
به‌جای تحلیل مکانیزم‌های فیزیکی تعیین پدیده‌های مشاهده شده شامل پدیده‌هایی که منجر به تریپ زدن می‌شوند، این مطالعه روی اثر نهایی بارگذاری WPP ها تمرکز کرده است. در بیشتر مطالعات عددی (موردهای

مطالعه‌های CS#1 و CS#2) پاسخ دینامیکی زمانی که WPP در خروجی کامل است، قوی‌ترین پاسخ است. تغییرات متغیرها بیشترین تغییرات بوده و زمانی که حالت گذرا رفع می‌شود، طولانی‌ترین زمان است.

هم پاسخ‌های توان اکتیو هم راکتیو در بیشتری موارد حساسیت کم و یا عدم حساسیت را نسبت به بارگذاری WPP های نزدیک نشان می‌دهند. از آنجایی که نمودارهای فرکانس ولتاژ POI در بخش 4 نشان داده نشده‌اند، لازم به ذکر است که هر دو متغیر، تقریباً هیچ حساسیتی را نشان نمی‌دهند. با این وجود، ولتاژ و فرکانس POI (بلافاصله پس از یک خطا، روی بازه زمانی بازیابی پس از خطا و حالت دائمی پس از رویداد)، به طرز قابل توجهی به سطح بارگذاری WPP وابسته هستند. بر اساس منحنی‌های سرعت روتور WTG (که در بخش 4 آورده نشده است)، این پدیده ممکن است به صورت قابل توجهی با سطح بارگذاری WTG ها تأثیر بپذیرد در صورتی که اثر کمی روی سایر WTG ها مشاهده می‌شود. سرعت‌های چرخش زیاد روتور به نظر می‌رسد که تغییر قابل توجهی را در این پدیده الکتریکی ایجاد نمی‌کنند (که می‌تواند یک مسئله مدل‌سازی باشد).

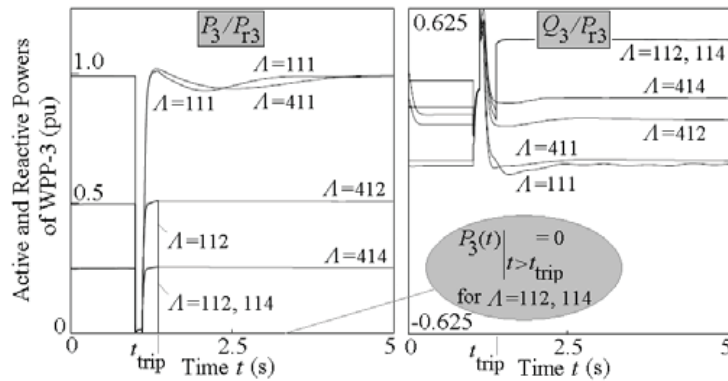
برای برخی از WPP های مورد نظر، پاسخ دینامیکی شامل خروجی توان اکتیو است که به شدت به طول‌های خط انتقال نزدیک وابسته است (در حالت کلی‌تر، روی فواصل الکتریکی بین WPP ها). با این وجود، در بیشتر تحقیقات، اثر متقابل بارگذاری WPP های نزدیک قابل چشم‌پوشی است به این دلیل که هیچ تغییری در حالت گذرا مشاهده نمی‌شود.

در نتیجه، چند تحقیق عددی (موردهای مطالعه‌ای CS#3 و CS#4) نشان می‌دهند که یک WPP در بار جزئی می‌تواند در پاسخ به یک خطا تریپ کند که در همان WPP در حالت بار کامل می‌تواند از خطا گذر کند. برای یک منطقه محلی معلوم، این اثر بسته به بارگذاری WPP های مجاور چندان قابل توجه به نظر نمی‌رسد با این وجود، این اثر ممکن است به فواصل الکتریکی WPP ها بستگی داشته باشد.



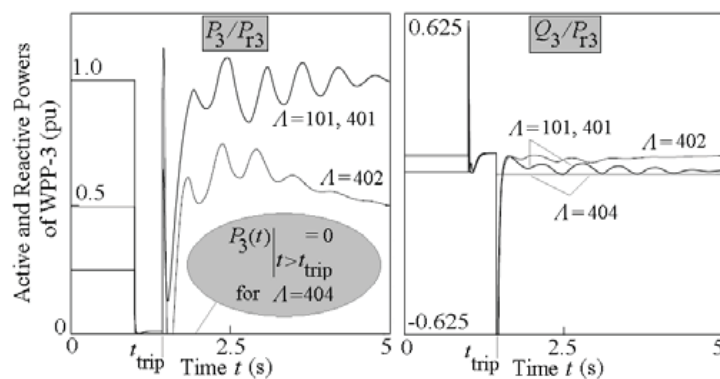
شکل 7. پاسخ WPP-1 به خطای نزدیک POI-3 در مورد CS#3، $T_c=6$ سیکل، ترکیب‌های مختلفی از

بارگذاری Λ



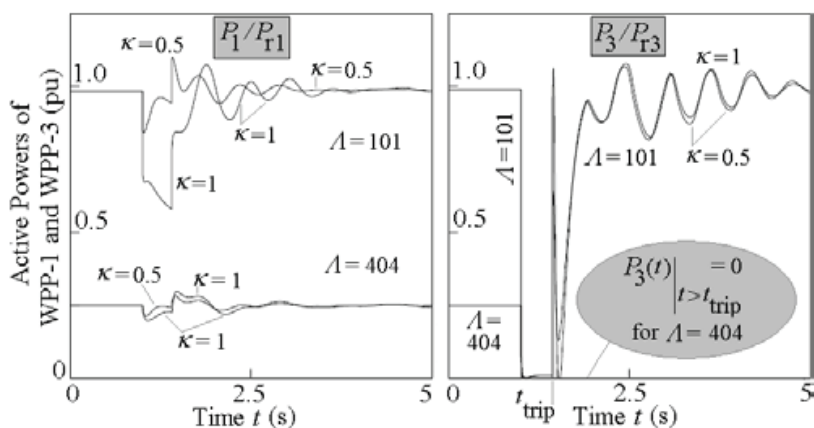
شکل 8. پاسخ WPP-3 به خطای نزدیک POI-3 در مورد CS#3، $T_c=6$ سیکل، ترکیب‌های مختلفی از

بارگذاری Λ



شکل 9. پاسخ WPP-3 به خطای نزدیک POI-3 در مورد CS#4، $T_c=26$ سیکل، ترکیب‌های مختلفی از

بارگذاری Λ



شکل 10. پاسخ WPP-1 (سمت چپ) و WPP-3 (سمت راست) به خطای نزدیک CS#4 POI-3، ترکیب‌های مختلف بارگذاری Λ و طول‌های مختلف خط انتقال κ . سمت چپ $T_c=24$ سیکل و سمت راست $T_c=26$ سیکل.

6. بحث و گفتگو

علی‌رغم این که تحقیقات عددی اعتبار روش موجود را برای تنظیم سطح بارگذاری یک WPP تأیید می‌کند، برخی از تحقیقات نشان‌دهنده نتیجه عکس هستند. در حالت خاص، نتیجه‌گیری‌های مربوط به قابلیت FRT در یک WPP می‌توانند بسته به بارگذاری پیش از رویداد احتمالی، متفاوت باشند. با این وجود، همانند [5] و [6]، این مطالعه یک نتیجه دارد و آن این است که یافته‌های و آن با مشخصه‌های مدل‌های WTG اثر می‌پذیرد به‌جای آنکه به خاطر نوع و مشخصه‌های تجهیزات WTG تأثیر بگیرد. برخی از مدل‌های WTG که قابلیت استفاده در شرایط بار جزئی را دارند، مشخص شده‌اند تا شبه‌ای در مورد نتایج شبیه‌سازی باقی نماند. برخی از نسخه‌های مدل فعلی بررسی رفتار WTG را تحت این شرایط دشوار کرده‌اند. علی‌رغم اینکه هیچ مدل WTG با مسائل مربوط به این دسته از مدل‌ها در این مطالعه استفاده نشده است، اما اثربخشی برخی از مدل‌های اعمال شده جای سؤال دارد.

در حال حاضر، مدل‌های متعددی از WTG یک مدل معادل شفت دو قسمتی را فرض می‌کنند. در تعداد از مدل‌های جدیدتر، ماژول ایرودینامیکی توربین و ماژول سیستم شفت به طرز قابل توجهی ساده شده و یا حتی حذف شده‌اند. نمونه‌ای از آن‌ها روش شبه-گاورنر است که در و آن یک تابع تبدیل ساده نقش عمل پیوند تبدیل ایرودینامیکی و کنترل زاویه‌های بال‌های توربین را ایفا می‌کند. از سوی دیگر، محاسبات WTG ی نوع 3 در [9]

نشان می‌دهند که مدل درایو قطار مکانیکی کامل می‌تواند چرخش بیشتری را در گشتاور مکانیکی نشان دهد. در این صورت، حتی مدل معادل 2 بخشی نیز می‌تواند به یک ارزیابی مصالحه‌ای منجر شود. علی‌رغم اینکه این مطالعه مسائلی را راجع به چگونگی تأثیر بارگذاری WPP های مجاور روی سرعت‌های روتور ارائه کرده است اما معلوم نیست که آیا یک مدل WTG که برای مطالعات پایداری ارائه شده است می‌تواند سرعت روتور را با دقت بالا مشخص کند یا خیر. بعلاوه، برای برخی از مدل‌ها، قابلیت ماژولی که نشان‌دهنده مبدل الکترونیک قدرت پشت‌به‌پشت (به عنوان بخشی از WTG) می‌باشد ممکن است سؤال‌برانگیز باشد.

توجه داشته باشید که در یک WPP ی واقعی در مقیاس بزرگ، انواع مختلفی از فاکتورها شامل سرعت‌های باد، ترکیب‌های کلکتور، انواع کابل و طول‌های کابل) برای کار در شرایط مختلف برای WTG های منحصربه‌فرد مشخص شده‌اند. شرایط متضاد برای WTG های منحصربه‌فرد می‌توانند لزوم بیان کلکتور را به صورت دقیق در [5] و [10] مشخص نمایند. اگر سرعت‌های روتور WTG و به خصوص تنوع شرایط WTG نیاز به اشاره داشته باشند، اثر بارگذاری WPP ها می‌بایست دوباره ارزیابی گردد.

بررسی‌های مربوط به تعداد مدل‌های WTG ی ارائه شده در گذشته (به خصوص، ابزارهای خاص) که توسط NYISO پشتیبانی می‌شوند، نشان‌دهنده پیشرفت به رو رشد در مسیر استفاده از این ابزارها به‌گونه‌ای متداول‌تر در مسئله است. مدل‌های مبتنی بر اجزا نیز روشی را برای مدل‌سازی انواع رفتارها ارائه می‌کند. لازم به ذکر است که برای همین تجهیزات WTG، نسخه‌های بعدی مدل اغلب حالت‌های گذرای هموارتری با تغییرات کمتر نشان می‌دهند به خصوص در ولتاژ و فرکانس ترمینال WTG.

بر اساس این نکته، ابهامات بیشتری از تحلیل رله‌های حفاظتی فرکانس ولتاژ WTG نتیجه می‌شود که برای برخی از پروژه‌های جدیدتر WPP پیشنهاد شده NYISO به کار رفته و برای برخی از پروژه‌ها نیز توسط طراحان به صورت خاص اعمال شده است. برای تنظیمان رله‌های آپدیت شده امری غیرمعمول نیست که به WTG ها این امکان را بدهند که برای تغییرات زیاد ولتاژ و فرکانس باز هم در شبکه آنلاین باقی بمانند. اعتبار این آپدیت سازی ها و اثر و آن روی ارزیابی FRT نیازمند درک بهتر است.

7. کارهای آینده

هر حرکت به رو جلو در مدل‌های WTG ی رفتاری و هم تغییرات قابل استفاده در تنظیمات رله‌های حفاظتی به خصوص برای ابزارهای شبیه‌سازی خاص، می‌بایست در کنار سازنده‌های WTG به صورت دقیق مورد بحث قرار گیرند.

معمولاً، سازنده یک تجهیز WTG مدل EMTP-type ی و آن را به کار می‌برد. به منظور درک بهتر اثر متقابل WPP های مجاور، یک شبکه نسبتاً کوچک می‌بایست مورد مطالعه قرار گیرد. شبیه‌سازی‌های مبتنی بر ابزارهای دقیق EMTP-type می‌بایست اجرا شوند تا درک بهتری از این مسئله نتیجه دهند.

8. نتیجه‌گیری‌ها

تحقیقات عددی بیشتر نشان داده‌اند که توزیع یک WPP در سطح بار کامل، باعث شرایط ناپایداری شدیدی می‌شود. در حالی که اثر و آن روی پاسخ دینامیکی بارگذاری WPP های مجاور قابل چشم‌پوشی است. برخی از تحقیقات، عکس این قضیه را نشان داده‌اند. معلوم بودن مدل‌های دقیق WTG برای مطالعات پایداری ممکن است برای شبیه‌سازی WTG های بارگذاری شده به صورت جزئی کافی نباشد، از این رو تحلیل بیشتری بر اساس ابزارهای EMTP-type لازم است. ضمناً، در حالت خاص زمانی که مطالعه برنامه‌ریزی سیستم مشکلی را در مورد پایداری یک WPP و یا قابلیت FRT ی و آن مشخص می‌کند، ترکیب‌های بیشتری از سطوح بارگذاری WPP می‌بایست مورد بررسی قرار گیرد.

REFERENCES

- [1] Y. A. Kazachkov, J. W. Feltes and R. Zavadil, "Modeling wind farms for power system studies," in Proc. of 2003 IEEE PES General Meeting, July 13-17, 2003, Toronto, Canada.
- [2] A. Ellis, Y. Kazachkov, E. Muljadi, J. Sanchez-Gasca, N. Miller, R. Zavadil and P. Pourkeik, "North America Dynamic Wind Generator Modeling Update," IEC TF88 WG27, Oct. 2009, Roskilde, Denmark. Available: <http://www.wecc.biz/committees/StandingCommittees/PCC/TSS/MVWG/REMTF/Wind%20Documents/IEC%20TF88-Oct%202009%20Wind%20Modeling%20Update.pdf> WG27-
- [3] M. Asmine, J. Brochu, J. Fortmann, R. Gagnon, Y. Kazachkov et al., "Model validation for wind turbine generator models," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 26, Issue 3, pp. 1769-1782, Aug. 2011.
- [4] N. Miller, J. MacDowell, G. Chmiel, R. Konopinski, D. Gautam et al., "Coordinated voltage control for multiple wind plants in Eastern Wyoming: analysis and field experience," in Proc. of IEEE Power Electronics and Machines in Wind Applications, July 16-18, 2012, Denver, Colorado, USA.
- [5] M. Y. Borodulin, "Effect of wind variation on wind turbine generator dynamics in power system planning stability studies," in Proc. of 2014 IEEE PES Transmission & Distribution Conference & Exposition, April 14-17, 2014, Chicago, USA.
- [6] M. Y. Borodulin, "Modeling of wind power plant collector system in power system planning stability studies," in Proc. of 2014 IEEE PES Transmission & Distribution Conference & Exposition, April 14-17, 2014, Chicago, USA.
- [7] M. Y. Borodulin, "Numerical effects in stability simulations of power systems with wind turbine generators," in Proc. of 2012 IEEE PES General Meeting, July 22-26, 2012, San Diego, USA.
- [8] M. Y. Borodulin, "Validation of wind turbine generator stability models fro wind generation interconnection studies," in Proc. of 2014 IEEE PES General Meeting, July 27-31, 2014, Washington DC, USA.
- [9] O. Anaya-Lara, G. Ramtharan, E. Bossanyi and N. Jenkins, "Assessment of structural dynamics for model validation of induction generator-based wind turbines," in Proc. of European Wind Energy Conference, Feb. 27-March 2, 2006, Athens, Greece
- [10] M. A. Elizondo, S. Lu, G. Lin and S. Wang, "Dynamic response of large wind power plant affected by diverse conditions at individual turbines," in Proc. of 2014 IEEE PES General Meeting, July 27-31, 2014, Washington DC, USA.