

ارائه مدلی انعطاف‌پذیر برای مطالعات نیروگاه بادی در سیستم‌های قدرت

حسن رستگار

محمد منفرد

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (قطب علمی قدرت ایران)

E-mail: monfared81@yahoo.com, rastegar@aut.ac.ir

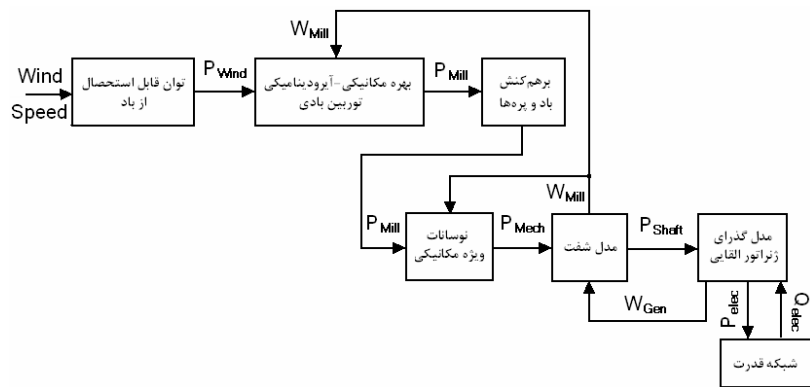
چکیده - در سالهای اخیر تولید برق با استفاده از انرژی باد به شدت مورد توجه قرار گرفته است. به منظور مطالعه اثر عمل متقابل بین شبکه و توربین‌های بادی، مدل‌های مختلفی برای این منابع نوظهور انرژی الکتریکی توسعه یافته‌اند. مدل‌هایی که تاکنون ارائه شده‌اند [۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶]، عموماً هر کدام به سبب تمرکز بر پاره‌ای از جزئیات از دیگر پارامترهای سیستم غفلت دارند. روشی مناسب برای حل این مشکل، مدلسازی مدولار توربین بادی است. مدل‌های دینامیکی بسیار دقیق برای مزارع بادی، نقش مهمی در اعتبار نتایج شبیه‌سازی اثرات متقابل آنها با شبکه و در نتیجه قابلیت اطمینان شبکه دارد. در این مقاله، مدل مدولار و دقیق از یک توربین بادی متصل به شبکه ارائه شده است. امکان استفاده از مدل پیشنهادی در هر ترکیب اختیاری شبکه خارجی و مطالعات مختلف میسر است. مدل مدولار و بصورت مجموعه‌ای از چندین بلوک است، که هر کدام مدل‌کننده یک جزء و یا پدیده فیزیکی، با دقت و سطح پیچیدگی موردنظر می‌باشد؛ لذا مدل بدست آمده کاملاً نزدیک به واقعیت و فیزیکی بوده و امکان اعمال هر تغییر دلخواه در هر کدام از اجزا وجود دارد. مدل بدست آمده در نرم‌افزارهای *Simulink* و *PSCAD* پیاده‌سازی شده است و در مطالعات پایداری، کیفیت توان یک شبکه واقعی مورد استفاده قرار گرفته است و بسته به نوع مطالعات، ساده سازی مدل مدولار بوسیله حذف بلوک‌های مناسب انجام پذیرفته است که این مزیت، سبب افزایش سرعت شبیه‌سازی‌ها و کاهش حجم محاسبات می‌گردد. نشان داده شده است که مدل با دقت بالایی، فلیکر ولتاژ ناشی از توربین‌های بادی و رفتار گذرای پس از خطا را نشان می‌دهد و نتایج مفیدی برای کیفیت توان و پایداری شبکه مورد مطالعه بدست آمده است.

کلیدواژه - توربین بادی، مدل مدولار، سیستم قدرت، پایداری، فلیکر، *PSCAD*، *MATLAB/Simulink*

۱- مقدمه

توربین‌های بادی ضروری است. امروزه با بروز خطا در شبکه، توربین‌های بادی جدا شده و تحویل کل توان به منابع معمول واگذار می‌شود که به سبب نقش کم مزارع بادی در کل تولید، مشکل ساز نیست. اما با افزایش سهم توربین‌های بادی در تولید، این کار به سادگی میسر نخواهد بود. از سوی دیگر فلیکر ولتاژ در محل مصرف‌کننده‌هایی که نزدیک به مزارع تولید انرژی الکتریکی از باد هستند، مشاهده می‌شود که این مشکل نیز با افزایش سهم مزارع بادی افزایش می‌یابد [۱]. در این مقاله، مدلی مدولار و دقیق، بصورت یک مدل الکترومکانیکی پیچیده، ارائه گشته و پس از پیاده‌سازی بوسیله نرم‌افزارهای متداول، در مطالعات مختلف سیستم قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. تاکنون مدل‌های گوناگونی برای مطالعه تاثیرات ناشی از مزارع بادی بر شبکه‌های قدرت ارائه شده‌اند که معایب متعددی به آنها

شبیه‌سازی توربین‌های بادی بوسیله نرم‌افزار، ابزار تحقیق در بررسی رفتار توربین‌های بادی است. از مهمترین مسائلی که امروزه در ارتباط با توربین‌ها و مزارع بادی در شبکه‌های موجود مورد توجه می‌باشد، قابلیت اطمینان توان بدست آمده (از لحاظ پایداری سیستم) و تاثیر مزارع بادی بر کیفیت توان است. هر چند تعیین موقعیت مزارع بادی با توجه به ویژگی‌های بادی محل می‌باشد، اما قدرت شبکه در محل اتصال مزارع بادی نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. ضعف شبکه قدرت در محل اتصال سبب دو مشکل اساسی می‌گردد: اول، کاهش قابلیت اطمینان و امنیت تحویل توان از توربین بادی به مصرف‌کننده‌ها به هنگام بروز خطا در شبکه و دوم، کاهش کیفیت توان تحویلی به مصرف‌کننده‌ها [۱]. لذا شبیه‌سازی متصل به شبکه



شکل ۱: مدل مدولار توربین بادی متصل به شبکه

که در آن R و ρ_{air} شعاع پره‌های روتور بر حسب متر و چگالی هوا بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب هستند. در این مدل، امکان اعمال هر مدل دینامیکی دلخواه برای باد وجود دارد. راهی مناسب و متداول برای بیان سرعت باد، استفاده از توزیع ویبول است. رابطه (۲)، تغییرات زمانی سرعت بادی است که دارای توزیع ویبول می‌باشد.

$$v(t) = \left(-\frac{Ln r(t)}{C} \right)^{1/K} \quad (2)$$

که در آن، K ، C به ترتیب، پارامترهای شکل و مقیاس توزیع ویبول و $r(t)$ عددی تصادفی در بازه ۰ تا ۱ می‌باشد.

۲-۲- بهره مکانیکی-آیرودینامیکی توربین بادی

قابلیت توربین بادی در استحصال توان مکانیکی از توان باد وزشی را نشان می‌دهد: [۴]

$$P_{Mill} = P_{Wind} \times C_p(\lambda, \beta) \quad (3)$$

C_p ضریب توان توربین بادی دوار نامیده شده و از روی منحنی‌های $C_p(\lambda, \beta)$ بدست می‌آید که:

$$\lambda = \frac{\omega_{Mill} R}{v} \quad (4)$$

λ و β نسبت سرعت نوک (tip speed ratio) و زاویه گام (pitch angle) می‌باشند. این بلوک بصورت یک مجموعه منحنی و یا جداول look up قابل پیاده‌سازی است.

۲-۳- برهم کنش باد و پره‌ها

این برهم کنش، حالات گذرا در سیستم مکانیکی توربین بادی با کنترل stall (کاهش توان با افزایش سرعت باد، ناشی از نیروهای درگ و دریفت)، ناشی از رفتار

وارد است: کار موثری بر روی مدل‌سازی باد و تاثیر اغتشاشات باد بر عملکرد دینامیکی توربین بادی انجام نشده است، مدل مناسبی برای آیرودینامیک پره‌ها ارائه نشده است، مدل مناسبی برای محور ارائه نشده است، پدیده‌های فیزیکی مربوط به مکانیک و آیرودینامیک پره‌ها و محور، در مدل باد اعمالی به توربین آورده شده است که مسلماً فیزیکی و در انطباق با واقعیت نیست و در نهایت اینکه امکان اعمال مدل دینامیکی دلخواه برای باد به عنوان یک ورودی کاملاً تصادفی امکان‌پذیر نیست [۱، ۲، ۳، ۴]. در بدست آوردن مدل ارائه شده در این مقاله، تمام سعی بر این بوده است تا برآیندی کارآمد از کلیه فعالیت‌هایی که در زمینه شبیه سازی دقیق توربین‌های بادی انجام گرفته است، بدست آید. در انتخاب و اصلاح احتمالی مدل برای هر بخش و پدیده فیزیکی، صحت کار انجام شده بوسیله ارائه دهندگان و تطابق آن با نتایج تست‌های واقعی و یا واقعیات فیزیکی مدنظر بوده است.

۲-۲- مدل مدولار توربین بادی

تصویر (۱) مدل دینامیکی توربین بادی را بصورت مجموعه‌ای از بلوک‌ها نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که هر بلوک متناظر با یک پدیده و یا جزء فیزیکی است.

۲-۱- توان باد وزشی

در این بلوک کل توان مکانیکی که بصورت بالقوه از بادی که با سرعت v در ناحیه جاروب پره‌هایی به مساحت A می‌وزد، قابل استحصال است، مدل می‌گردد:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho_{air} A v^3 \quad (1)$$

$$A = \pi R^2$$

الکتریکی خروجی توربین بادی می‌شوند. این نتایج، بوسیله [۳] نیز تأیید شده‌اند، هرچند این مرجع در نهایت مدل مناسبی برای بیان آنها ارائه نمی‌دهد. بررسی طیف توان الکتریکی خروجی یک مزرعه بادی که در معرض وزش باد ملایم با حداقل تغییرات قرار گرفته است، راهنمای خوبی برای بدست آوردن رابطه مناسبی برای این نوسانات ویژه است. نوساناتی که بر روی شکل (۳) نامگذاری شده‌اند، بوسیله رابطه زیر در طیف توان توربین بادی تزیق می‌گردند: [۱]

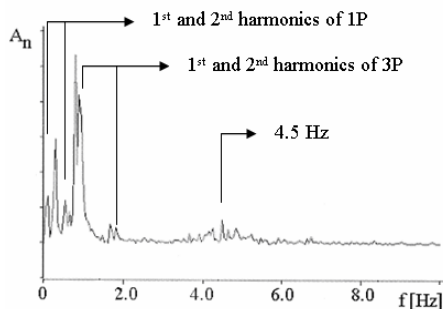
$$P_{Mech}(t) = P_{Mtl} \left(1 + \sum_{n=1}^3 A_n \left(\sum_{m=1}^2 a_{nm} g_{nm}(t) \right) h_n(t) \right) \quad (6)$$

$$g_{nm}(t) = \sin \left(\int_0^t m \omega_n(t') dt' + \phi_{nm} \right) \quad (7)$$

m و n نوع نوسان مکانیکی تحریک شده در محور دوار و شماره هارمونیک هر نوسان می‌باشند. کلیه ضرایب در جدول (۱) آمده‌اند. نوسانات 1P، ناشی از عدم تقارن در روتور یک توربین بادی سه پره هستند. فرکانس هارمونی اول این نوسانات ویژه برابر با فرکانس چرخش محور دورپایین توربین است، نوسانات 3P، ناشی از اثر سایه (پوشاندن) پره‌ها هنگام عبور از مقابل برج و اغتشاشات دورانی در محور توربین بادی است. فرکانس این نوسانات ویژه در حدود سه برابر فرکانس چرخش محور دور پایین توربین است و نوسانات ویژه ناشی از پره‌ها در فرکانسی در حدود 4.5Hz اتفاق می‌افتد.

n	Kind	A_n	ω_n	$h_n(t)$	m	a_{nm}	ϕ_{nm}
1	Assymetry	0.01	ω_{MIL}	1	1	4/5	0
					2	1/5	$\pi/2$
2	Tower shadow	0.08	$3\omega_{MIL}$	1	1	1/2	0
					2	1/2	$\pi/2$
3	Blades	0.15	$2\pi \cdot 4.5$	$0.5g_{11} + 0.5g_{21}$	1	1	0

جدول ۱: ضرایب معادلات نوسانات ویژه (معادلات ۶ و ۷)

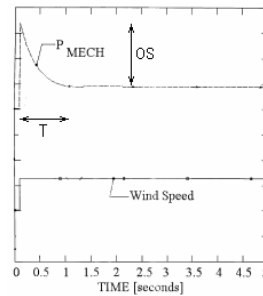


شکل ۳: طیف اندازه‌گیری شده توان الکتریکی توربین بادی که در معرض وزش باد با سرعت نسبتاً ثابت قرار دارد [۱]

آیرودینامیکی هوا در سطح پره‌هاست. با توجه به پاسخ توربین به تغییر پله‌ای در سرعت باد، مرجع [۱]، معادله دیفرانسیل مرتبه اول را پیشنهاد می‌دهد. لیکن تابع تبدیل زیر برای این بلوک، بوسیله مولفین پیشنهاد می‌گردد که پاسخ پله تصویر (۲) را کاملاً مدل می‌کند:

$$H(s) = \frac{2O.S^2}{T^2} \left[\frac{1 - e^{-Ts}}{s^2} - \frac{T}{s} + \frac{T^2}{s} \right] + 1 \quad (5)$$

در رابطه پیشنهادی، اندازه اضافه جهش و ثابت زمانی نشست توان توربین به سرعت باد و اندازه و شکل پره‌ها وابسته‌اند. استفاده از ژنراتور القایی سبب می‌گردد تا این گذراها، در صورت بروز اغتشاش الکتریکی در ترمینالهای ژنراتور، ایجاد شده و منجر به تغییر در سرعت محور توربین بادی گردند.



شکل ۲: تغییر P_{Mech} توربین بادی در پاسخ به تغییر پله‌ای در سرعت باد [۱]

۲-۴- نوسانات ویژه مکانیکی

نوسانات ویژه مکانیکی در واقع، یکی از عوامل اصلی ایجاد فلیکر در خروجی توربین‌های بادی هستند. مطالعات زیادی بر روی این نوسانات و برای مدل کردن آنها انجام شده است که جامع‌ترین آنها توصیفی تجربی است که بر اساس آنالیز طیف اندازه‌گیری شده توان الکتریکی در مزارع بادی استوار است. با توجه به آنالیزی که بر روی این طیف انجام گرفته، مشخص شده‌است که تاثیر نوسانات ویژه مکانیکی در نوسانات توان الکتریکی، سیستماتیک بوده و می‌توان آنها را از تاثیرات غیرقطعی و تصادفی ناشی از تغییرات سرعت وزش باد مجزا نموده و فرموله کرد. از سوی دیگر، به سبب کوپلینگ قوی بین پارامترهای الکتریکی و مکانیکی در ژنراتورهای القایی (بوسیله لغزش)، این نوسانات ویژه در توان مکانیکی محور دوار، از طریق روتور به ژنراتور منتقل شده و سبب ایجاد اغتشاشاتی بصورت فلیکر در توان

است با:

$$f_D = \sqrt{\frac{\omega_0 K}{8\pi^2} \times \frac{H_M + H_E}{H_M H_E}} \times \sqrt{1 - D^2} \quad (9)$$

این فرکانس نزدیک فرکانس های 1P و 3P است. این بدان معناست که توربین بادی متصل به شبکه، همچون فیلتری پایین گذر عمل کرده و لذا هارمونیک های مرتبه بالای نوسانات ویژه در خروجی الکتریکی ظاهر نمی شوند.

۴- استفاده از مدل توربین بادی در مطالعات سیستم قدرت

با توجه به ساختار مدولار مدل ارائه شده، برای هر نوع پدیده تحت بررسی، تنها بلوک هایی که در آن پدیده موثرند، در شبیه سازی ها استفاده می شوند. در مطالعات مربوط به کیفیت توان و فلیکر می توان از رفتار آیرودینامیکی اطراف پره ها صرف نظر کرده و همچنین از مدلی دینامیکی برای ژنراتور استفاده کرد. در انجام مطالعات پایداری به هنگام بروز خطا در سیستم قدرت نیز می توان از بلوک نوسانات ویژه مکانیکی صرف نظر کرد. شبیه سازی ها بر روی یکی از توربین های 550kw نیروگاه والفجر منجیل (متعلق به شرکت نورد تانک دانمارک) که بوسیله ترانس بالارونده به شبکه 20kV (که بوسیله معادل تونن آن جایگزین شده است) متصل است، انجام گرفته است [۱۰]. برای نشان دادن عمومیت و سادگی پیاده سازی مدل مدولار بوسیله ابزارهای موجود در انواع مختلف نرم افزارهای شبیه سازی، مدل ارائه شده، در دو نرم افزار MATLAB/Simulink و PSCAD پیاده شده و همانطور که ملاحظه خواهد شد، نتایج هر دو یکسان است.

۴-۱- عملکرد توربین بادی همچون فیلتر پایین گذر

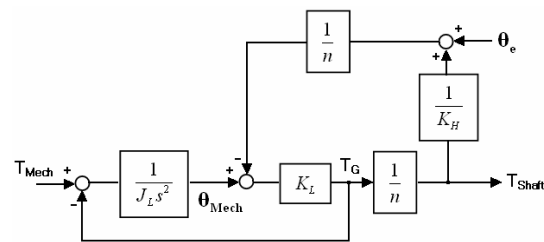
در بخش ۳، مفصلاً درباره این ویژگی مهم بحث شد. تصاویر (۵) و (۶)، نیز اثر حذف فرکانسهای بالا در خروجی الکتریکی توربین بادی را نشان می دهد. نتایج حاصل از هر دو نرم افزار، مشابه و در تطابق با رابطه (۹) است.

۴-۲- مطالعات کیفیت توان توربین بادی متصل به شبکه

با اتصال توربین بادی به یک شبکه نسبتاً ضعیف، فلیکر در

۲-۵- مدل شفت و سیستم مکانیکی

وجود جعبه دنده سبب می گردد تا شفت ها در دو سمت با دو سرعت متفاوت بچرخند؛ به عبارت دیگر وجود جعبه دنده سبب کاهش قابل ملاحظه سختی (صلبی) شفت بین ژنراتور و توربین، وقتی از سمت ژنراتور (محور دوربالا) دیده می شود، می گردد [۶]. تصویر (۴)، مدل کامل سیستم مکانیکی، شامل سه جرم که بوسیله دو محور غیرصلب بهم متصل اند را نشان می دهد. از کلیه میرایی ها صرف نظر گردیده است. این میرایی ها عبارتند از: (i) میرایی ناشی از اصطکاک یاطاقانها. از آنجا که بلبرینگها در توربین بادی روغنکاری می شوند، لذا اصطکاک، ناچیز و قابل صرف نظر کردن است. (ii) میرایی ناشی از دمپرها (ترمزها) که ناشی از اعمال دمپینگ خارجی است و هیچگاه به عنوان جزئی از سیستم شفت توربین بادی در نظر گرفته نمی شود [۶].



شکل ۴: مدل شفت و سیستم مکانیکی

۲-۶- مدل گذرای ژنراتور القایی

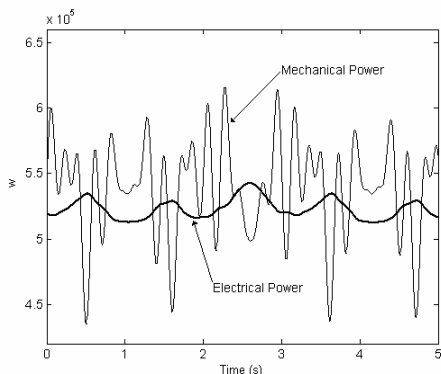
به سبب کوپلینگ قوی بین سرعت روتور و مشخصات الکتریکی ماشین های القایی، در نظر گرفتن مدل دقیقی که رفتار گذرا را دربرداشته باشد، الزامی است. مدلی استاندارد برای ژنراتور القایی در نظر گرفته شده است که بخش الکتریکی بوسیله معادلات فضای حالت درجه چهار و بخش مکانیکی با سیستم درجه دو مدل شده اند [۷ و ۸].

۳- تابع تبدیل توربین بادی و رزنانس

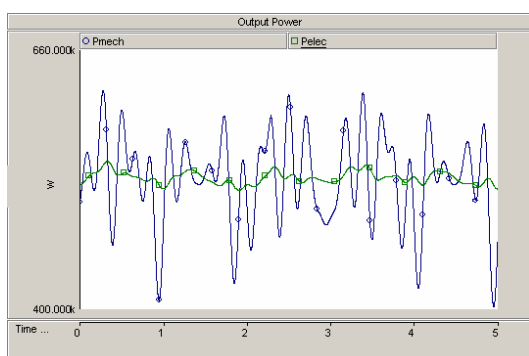
معادله نوسان برحسب پیچش شفت برای توربین بادی بصورت زیر است [۹]:

$$\frac{d^2}{dt^2} \Delta \theta + \frac{\omega_0 K}{2} \times \frac{H_M + H_E}{H_M H_E} \Delta \theta = 0 \quad (8)$$

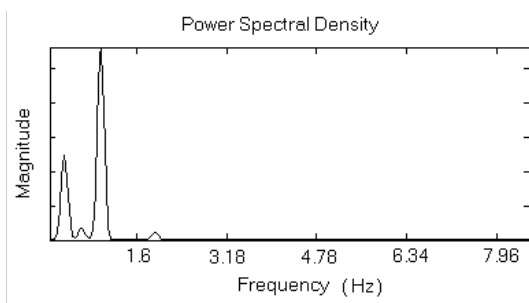
که H_E و H_M ثوابت لختی توربین و ژنراتور و K و ω_0 سختی محور و سرعت سیستم هستند. فرکانس طبیعی میراشده با استفاده از رابطه فوق و با توجه به دمپینگ سیستم، D ، برابر



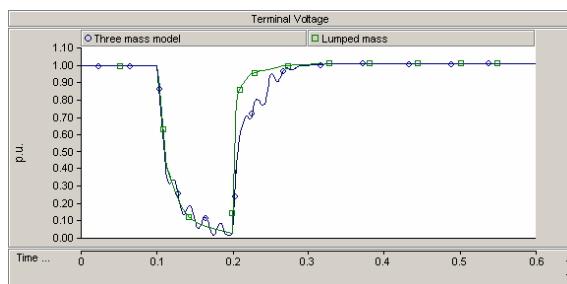
شکل ۵: عملکرد توربین بادی همچون فیلتر پایین گذر (پایاده سازی مدل مدولار در Simulink)



شکل ۶: عملکرد توربین بادی همچون فیلتر پایین گذر (پایاده سازی مدل مدولار در PSCAD)



شکل ۷: نوسانات موجود در طیف توان الکتریکی خروجی توربین بادی با سرعت باد ثابت (پایاده سازی مدل مدولار در Simulink)



شکل ۸: رفتار گذرای ولتاژ ترمینال توربین بادی پس از بروز خطا (پایاده سازی مدل مدولار در PSCAD)

محل های نزدیک به مزارع بادی مشاهده می شود که منشا اصلی آن تغییرات سرعت باد دانسته می شود. نتایج حاصل از این شبیه سازی منجر به تصحیح این دیدگاه می شود. در این مطالعه، به مدل توربین بادی، سرعت باد ثابت اعمال کرده و طیف فوریه توان الکتریکی خروجی، تصویر (۷)، را بدست می آوریم. لذا منشا فلیکر موجود در توان خروجی توربین های بادی را می توان به دو دسته تقسیم کرد: (۱) فلیکر ناشی از تغییرات سرعت باد که کاملاً تصادفی و غیر قابل پیش بینی هستند و (۲) فلیکر ناشی از نوسانات ویژه در ساختار مکانیکی-آیرودینامیکی توربین که سیستماتیک، منظم و قابل پیش بینی می باشند. قابل ذکر است که در مطالعات کیفیت توان، بدون از دست دادن دقت، می توان از بلوک برهم کنش باد و پرها صرف نظر کرد و برای ژنراتور نیز از مدل دینامیکی (بجای گذرا) استفاده کرد.

۴-۳- مطالعات پایداری توربین بادی متصل به شبکه

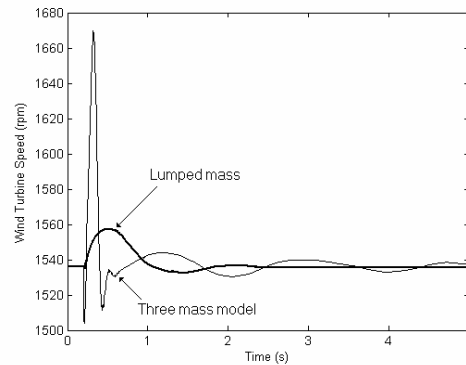
شبیه سازی بر روی یک شبکه واقعی که در بخش ۴ معرفی گردید، انجام شده است. تصاویر (۸) و (۹) نیز رفتار گذرای ناشی از بروز خطا در ولتاژ و سرعت توربین بادی را که بوسیله مدل های PSCAD و Simulink پیش بینی شده اند را نشان می دهند. خطا یک اتصال کوتاه سه فاز به مدت 100ms در فیدر متصل به یک بار 5MW در سیستم 20kV و بدون جداسازی توربین بادی پس از رفع خطا است. صرف نظر کردن از بلوک نوسانات ویژه مکانیکی هیچ تغییری در رفتار گذرای توربین ایجاد نکرده و در هر دو حالت صرف نظر و یا عدم صرف نظر به جواب کاملاً برابر می رسیم. اما همانگونه که از این تصاویر برمی آید، اهمیت مدل شفت در مطالعات پایداری چشمگیر بوده و استفاده از مدل ساده جرم متمرکز منجر به پاسخ های غیر معتبر و خوش بینانه می گردد. در مدل جرم متمرکز، افت اولیه سرعت و سپس شیب تند افزایش سرعت وجود نداشته و دامنه افزایش نیز بسیار کمتر است. همچنین زمان بازیابی ولتاژ نیز در مدل جرم متمرکز بسیار خوش بینانه و کوتاه تر از مقدار واقعی بدست می آید.

ولتاژ پس از رفع خطا دارد. افزایش سرعت توربین بادی
بعلت بروز خطا نیز آنقدر زیاد نیست تا سیستم حفاظتی
اقدام به توقف توربین و جداسازی آن از شبکه کند.

مراجع

- [1] V. Akhmatov, H. Knudsen, and A.H. Nielsen, "Advanced simulation of windmills in- the electric power supply", *J. Elect. Power & Energy Syst.*, Vol. 22, No. 6, 2000, p.p. 421-434.
- [2] V. Akhmatov, H. Knudsen, Nielsen, A.H. J.K. Pedersen, and N.K. Poulsen, "Modeling and transient stability of large wind farms", *Electrical Power and Energy Systems*, 25, 2003, p.p. 123-144
- [3] A.D. Hansen, P. Sorensen, F. Blaabjerg, and J. Becho, "Dynamic modeling of wind farm grid interaction", *J. Wind Engineering*, Vol. 26, No. 4, 2002, p.p. 191-208
- [4] P. Sorensen, B. BakJensen, J. Kristiasen, A.D. Hansen, L. Janosi, and J. Bech, "Power plant characteristics of wind farms", *Wind power for 21st century*, Kassel, Germany, 2000
- [5] S. Heier, "Grid interaction of wind energy conversion system", John Willey & Sons, 1998
- [6] K. Salman, and L.J. Anita, "Windmill modeling consideration and factors influencing the stability of a grid connected wind power based embedded generator", *IEEE Trans. Power Systems*, Vol. 18, No. 2, 2003, p.p. 793-802
- [7] H. Knudsen, and V. Akhmatov, "Induction generator models in dynamic simulation tools", *IPST'99*, Budapest, 1999, p.p. 213-216
- [8] V. Akhmatov, H. Knudsen, "Modeling of windmill induction generators in dynamic simulations programs", *IEEE Power Tech'99*, Budapest, 1999, BPT99-243-12
- [9] V. Akhmatov, H. Knudsen, "An aggregate model of a grid conncted, large scale, offshore wind farm for power stability investigations – importance of windmill mechanical system", *Electric Power & Energy Systems*, 24, 2002, p.p. 709-717

[۱۰] م. جمیل و ک. عباسپور، "فاصله بهینه بین توربین‌های بادی در یک نیروگاه بادی"، نشریه انرژی ایران، شماره ۱۹، اردیبهشت ۱۳۸۳، صفحه ۶۲



شکل ۹: رفتار گذرای سرعت ژنراتور توربین بادی پس از بروز خطا
(پایاده‌سازی مدل مدولار در Simulink)

۵- نتیجه گیری

مدل دقیقی که از توربین بادی به صورت مدولار ارائه شده است، رفتار آیرودینامیکی پره‌ها و گذراهای ناشی از برهم کنش باد و پره‌ها، کلیه نوسانات ویژه مکانیکی موثر در طیف توان الکتریکی خروجی توربین، مدل دقیق محور و مدل گذرای ژنراتور القایی را در نظر گرفته است. مدولار بودن، سبب می‌گردد تا در مطالعات مختلف با توجه به نوع پدیده مورد مطالعه، بلوک‌هایی که نقش مهمی در نتایج ندارند، حذف گشته و یا سطح پیچیدگی آنها کاهش یابد تا حجم محاسبات و زمان انجام شبیه‌سازی کاهش یابد. مدل ایجاد شده به راحتی قابل پیاده‌سازی در نرم‌افزارهای مختلف و قابل استفاده در مزارع بادی جهت انجام مطالعات کیفیت توان، پایداری و کنترل می‌باشد. در مطالعه انجام گرفته، نشان داده شد که توربین بادی متصل به شبکه، چگونه مانند فیلتری پایین‌گذر رفتار می‌کند. بعلاوه، ایده رایج درباره فلیکر موجود در توان خروجی توربین بادی اصلاح گشته و نقش اساسی مدل کردن نوسانات ویژه مکانیکی-آیرودینامیکی در مطالعات کیفیت توان، اثبات گشته است. نشان داده شد که مدل دقیق برای شفت و سیستم مکانیکی دوار، برای صحت نتایج حاصل از مطالعات پایداری الزامی است. از سوی دیگر، مطالعات انجام شده بوسیله مدل دقیق ارائه شده، نشان داد که چگونه ضعف شبکه برق در محل اتصال به مزارع بادی سبب ظهور فلیکر در توان تحویلی است، بطوریکه، در مناطق نزدیک به محل مزارع بادی، سطح فلیکر بیشتر است. مطالعات پایداری که بر روی یکی از واحدهای نیروگاه والفجر منجیل انجام شد، نشان از بالا بودن سطح پایداری توربین‌های بادی در بازیابی