

انرژي بادي

اتصال به شبکه و تاثير ديناميكي

تاليف:

پروفسور وي جي ويتال
پرورش راجا آيانار

ترجمه:

دکتر محسن رحيمي
(عضو هيئت علمي دانشگاه)
مهندس محمد حسين محلوجي



۱۳۹۶

سرشناسه	:	ویتال، ویجی Vital, Vijay
عنوان و نام پدیدآور	:	انرژی بادی: اتصال به شبکه و تأثیر دینامیکی/ تألیف وی جی ویتال، راجا آیاتار، ترجمه محسن رحیمی، محمدحسین محلوچی.
مشخصات نشر	:	تهران: سخنوران، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	:	۲۱۲ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	:	۱۵۰۰۰ ریال ۹۷۸-۶۰۰-۴۵۵-۴۵۵-۸
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Grid integration and dynamic impact of wind energy, c2013.
یادداشت	:	کتابنامه.
یادداشت	:	نمایه.
موضوع	:	نیروگاه‌های بادی Wind power plants
موضوع	:	انرژی بادی Wind power
موضوع	:	برق - سیستم‌ها Electric power systems
موضوع	:	برق - سیستم‌های اتصال درونی Interconnected electric utility systems
شناسه افزوده	:	آیاتار، راجا Ayyanar, Raja
شناسه افزوده	:	رحیم، محسن، ۱۳۵۸ - مترجم
شناسه افزوده	:	بوچی، محمدحسین، ۱۳۶۹ - مترجم
رده بندی کنگره	:	TK ۱۵۰ ۱۳۰ الف ۹ و/
رده بندی دیویی	:	۱۲/۳
شماره کتابشناسی ملی	:	۱۰۵۶۴



عنوان کتاب: انرژی بادی: اتصال به شبکه و تأثیر دینامیکی

مترجمان: محسن رحیمی - محمدحسین محلوچی

ناشر: سخنوران

طراح جلد: سخنوران

سال و نوبت چاپ: ۱۳۹۶ - اول

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

شابک: ۹۸۷-۶۰۰-۴۵۵-۴۵۵-۸

قیمت: ۱۵۰۰ تومان

تمامی حقوق این اثر محفوظ است.

انتشارات سخنوران: کارگر شمالی، بعد از ادوارد براون، شماره ۱۴۰۷، طبقه اول، تلفن: ۶۶۴۷۶۳۰۶



فهرست مطالب

۵.....	مقدمه مترجمین
۱۱.....	پیشگفتار
۱۳.....	فصل اول
۱۳.....	مقدمه
۱۳.....	۱-۱- شرحی بر تولید توان بادی
۱۶.....	۲-۱- فناوری‌های توربین ژنراتورهای بادی
۱۷.....	۱-۲-۱- توربین ژنراتورهای بادی نوع ۱
۱۸.....	۲-۲-۱- ژنراتورهای توربین بادی نوع ۲
۱۹.....	۳-۲-۱- توربین- ژنراتورهای بادی نوع ۳ (توربین- ژنراتورهای DFIG)
۲۱.....	۴-۲-۱- توربین- ژنراتور بادی نوع ۴ (توربین- ژنراتورهای با مبدل کامل)
۲۲.....	۳-۳-۱- نمایش جزئیات و مدل سازی توربین- ژنراتورهای بادی نوع ۳
۲۴.....	۲-۳-۱- DFIG به عنوان یک ژنراتور در سرعت‌های بالاتر از سرعت سنکرون
۲۵.....	۳-۳-۱- مدل انرژی بادی
۲۸.....	۴-۳-۱- مدل سیستم رانشگر مکانیکی
۲۹.....	۵-۳-۱- مدل سازی ژنراتور القایی دو سو تغذیه
۳۲.....	۴-۱- کنترل توربین‌های بادی نوع ۳

۳۴	فهرست مراجع
۳۵	فصل دوم
۳۵	مفاهیم الکترونیک قدرت
۳۶	۱-۲- اجزای یک مبدل الکترونیک قدرت
۳۶	۱-۱-۲- کنترل کننده ی فیدبک
۳۸	۱-۲-۲- مدولاتور پهنای پالس
۳۹	۱-۲-۳- ساختار مبدل الکترونیک قدرت
۴۱	۱-۲-۴- یک DC و ارتباط با بارها و سیستم های قدرت بیرونی
۴۲	۱-۲-۵- یک ساق (اینورتر)
۴۳	۱-۲-۶- سبب دینامیکی و ضریب وظیفه
۴۵	۱-۲-۷- مدل لاسیون پهنای پالس در یک ساق (اینورتر)
۵۰	۱-۲-۸- تحلیل جریان ساق جریان لینک DC
۵۱	۱-۲-۹- مدل میانگین یک ساق
۵۴	۱-۲-۱۰- مبدل تک قطبی
۶۱	۱-۲-۱۱- مبدل دو قطبی
۶۲	۱-۲-۱۲- مدل میانگین مبدل دو قطبی
۶۳	۱-۲-۱۳- روش مدولاسیون پهنای پالس (PWM) تک قطبی
۶۶	۱-۲-۱۴- ریل فرکانس بالا با PWM تک قطبی
۷۰	۱-۲-۱۵- مبدل های سه قطبی برای کاربردهای سه فاز
۷۷	۱-۲-۱۶- سایر ساختارهای مبدل ها و روش های PWM
۷۹	فهرست مراجع
۸۱	فصل سوم
۸۱	ساختارهای مبدل های الکترونیک قدرت واسط شبکه در توربین ژنراتورهای بادی
۸۲	۱-۳- عملکرد سرعت متغیر و نیازمندی های شبکه
۸۴	۱-۳-۲- مبدل های الکترونیک قدرت در ژنراتور القایی دو سو تغذیه
۸۵	۱-۳-۳- توابع کنترلی طبقات مختلف
۸۶	۱-۳-۴- مقادیر نامی مبدل های الکترونیک قدرت
۸۷	۱-۳-۵- حفاظت در برابر خطاهای شبکه
۸۹	۱-۳-۶- مبدل های الکترونیک قدرت برای ژنراتورهای بادی نوع ۴
۹۱	۱-۳-۷- عملکرد تحت شرایط خطا و سایر الزامات شبکه

۳-۴- سایر ساختارهای مبدل‌های قدرت..... ۹۲

فهرست مراجع..... ۹۴

فصل چهارم..... ۹۵

کنترل ژنراتورهای بادی..... ۹۵

۴-۱- مروری بر کنترل ژنراتورهای بادی DFIG..... ۹۶

الف- کنترل مبدل سمت روتور:..... ۹۶

ب- کنترل مبدل سمت شبکه:..... ۹۷

۴-۲- تحلیل رفتار حالت ماندگار DFIG با استفاده از مدار معادل تک فاز..... ۹۸

۴-۲-۱- استرچ مدار معادل تکفاز..... ۹۸

۴-۲-۲- مشخصه‌های گشتاور - سرعت در ولتاژهای مختلف روتور..... ۱۰۳

۴-۲-۳- تحلیل مدار حالت ماندگار DFIG در سرعت‌های مختلف باد و روتور..... ۱۰۵

۴-۳- تحلیل دینامیک L-DFIG و طراحی کنترل کننده‌ها..... ۱۱۷

۴-۳-۱- مقادیر مرجع جریان - تیغ/گشتاور و توان راکتیو..... ۱۱۷

۴-۳-۲- جهت‌یابی ولتاژ..... ۱۲۱

۴-۳-۳- مقادیر مرجع جریان در هار u و v روتور..... ۱۲۴

۴-۳-۴- طراحی کنترل کننده برای تلفه‌ها جریان روتور..... ۱۲۶

۴-۵- کنترل مبدل سمت شبکه..... ۱۲۸

۴-۶- نتایج شبیه‌سازی..... ۱۳۳

فهرست مراجع..... ۱۳۸

فصل پنجم..... ۱۳۹

مدل‌های دینامیکی ژنراتورهای بادی..... ۱۳۹

۵-۱- مقدمه..... ۱۳۹

۵-۲- مدل سازی توربین ژنراتورهای بادی برای تجزیه و تحلیل بخش بار..... ۱۴۰

۵-۳- مدل سازی توربین ژنراتورهای بادی برای تجزیه و تحلیل پایداری گذرا..... ۱۴۴

۵-۳-۱- مدل آیرودینامیک..... ۱۴۶

۵-۳-۲- کنترل مکانیکی و دینامیک‌های محور (شفت)..... ۱۴۶

۵-۳-۳- مشخصات الکتریکی ژنراتور..... ۱۴۸

۵-۳-۴- کنترل‌های الکتریکی..... ۱۴۹

۵-۳-۵- مدل کلی برای توربین ژنراتور بادی نوع ۳..... ۱۵۰

۴-۵- مدل مزرعه بادی..... ۱۵۴

فهرست مراجع.....	۱۵۷
فصل ششم.....	۱۵۹
اثر افزایش نفوذ ژنراتورهای بادی DFIG روی عملکرد دینامیکی سیستم.....	۱۵۹
۱-۶- مقدمه.....	۱۵۹
۲-۶- تأثیر افزایش نفوذ DFIG روی پایداری زاویه روتور.....	۱۶۰
۱-۲-۶- تأثیر ضربه نفوذ DFIG روی پایداری سیگنال کوچک زاویه ای روتور.....	۱۶۰
۲-۶- فرکانس بندی مساله پایداری سیگنال کوچک.....	۱۶۲
۳-۱-۶- حساسیت مقدار ویژه.....	۱۶۵
۴-۶- مطالعه تأثیر DFIG روی پایداری سیگنال کوچک زاویه روتور در قالب مثال.....	۱۶۷
۵-۲-۶- تأثیر روی گذرای زاویه ای روتور.....	۱۷۳
۶-۲-۶- اثر تغییرات بار بر پایداری گذرای زاویه ای روتور در قالب یک مثال.....	۱۷۴
۳-۶- اثر توربین بادی DFIG بر پایداری پاسخ ولتاژ.....	۱۷۹
۱-۳-۶- مدهای بهره برداری توربین های بادی مبتنی بر DFIG.....	۱۸۰
۲-۳-۶- گذر از (افتادگی) رستاز.....	۱۸۰
۳-۳-۶- منحنی قابلیت توان ماشین DFIG.....	۱۸۲
۴-۳-۶- تأثیر توربین بادی DFIG روی بارهای مت ماندگار ولتاژ.....	۱۸۴
۴-۶- تأثیر توربین ژنراتورهای بادی DFIG روی پاسخ فرکانسی سیستم.....	۱۸۵
۱-۴-۶- پشتیبانی فرکانس توسط توربین بادی مبتنی بر DFIG.....	۱۸۷
۲-۴-۶- تنظیم جبران کننده زاویه گام.....	۱۸۹
۳-۴-۶- تنظیم مقدار توان ماکزیمم.....	۱۹۰
۴-۴-۶- مثالی در مورد تأثیر مثبت کنترل کمکی اینرسی.....	۱۹۰
فهرست مراجع.....	۱۹۷
فهرست نمایه.....	۲۰۱



پیشگفتار

تجدید حیات انرژی بادی عمدتاً به دغدغه ناشده بر می‌گردد و دلیل آن پیشرفت‌های فناوری و ظهور توربین-ژنراتورهای سرعت متغیر مثل توربین-ژنراتورهای دو سو تغذیه DFIG و توربین-ژنراتورهای با مبدل کامل مبتنی بر ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم می‌باشد.

تطبیق پذیری و قابلیت انعطاف توربین-ژنراتورهای بادی تا حد زیادی بدلیل وجود مبدل‌های الکترونیک قدرت می‌باشد که باعث عملکرد سرعت متغیر و افزایش قابلیت‌های ژنراتور در تامین و پشتیبانی شبکه می‌گردد. با تجدید حیات توربین‌های بادی، تعداد قابل ملاحظه‌ای از مزارع بادی در همه نقاط دنیا به شبکه برق متصل شده‌اند. نتیجه علاقه به مطالعاتی که شامل تحلیل و بررسی اثر افزایش ضریب نفوذ منابع بادی بر عملکرد ماندگار و دینامیک شبکه بهم پیوسته قدرت می‌باشد، افزایش یافته است. برای فهم بیشتر و تحلیل دقیق تاثیر ضریب نفوذ مزارع بادی بر عملکرد شبکه قدرت، مدل‌هایی برای انواع مختلف توربین بادی ارائه شده است. این مدل‌ها همچنین در بسته‌های نرم افزارهای تحلیلی نیز وارد شده‌اند.

توربین-ژنراتورهای بادی مدرن دستگاه‌های پیچیده‌ای هستند و بررسی تاثیر آنها بر

سیستم قدرت مستلزم مطالعه دقیق و توانمند توربین‌های بادی و سیستم‌های کنترل متناظر آنها می‌باشد. به منظور دستیابی به این هدف، نیازمند فهم عمیق تر بخش‌های مهم و اساسی توربین-ژنراتورهای بادی می‌باشیم. این بخش‌های مهم و اساسی شامل مشخصه‌های دینامیکی و مکانیکی توربین، مشخصه‌های دینامیکی و الکتریکی ژنراتور و مشخصه‌های مبدل‌های الکترونیک قدرت و کنترل‌های متناظر آنها می‌باشد. نویسندگان این کتاب به‌مراه دانشجویان دانشکده پژوهش‌هایی در مورد بررسی تأثیر افزایش ضریب نفوذ توربین‌های بادی بر عملکرد سیستم قدرت انجام داده‌اند. البته محققان دیگر نیز در این حوزه تحقیقات قابل توجهی انجام داده‌اند.

هدف از نوشتن این کتاب، معرفی جنبه‌های مهم فناوری‌های مختلف توربین‌های بادی، بیان جزئیات مبدل‌های الکترونیک قدرت بکار رفته و کنترل‌های متناظر آنها و ارائه یک بحث جامع در مورد تأثیر توربین‌های بادی بر عملکرد دینامیکی سیستم قدرت می‌باشد. ما امیدواریم که این کتاب به فهم مفاهیم پایه فناوری توربین‌های بادی و تأثیر آنها بر عملکرد سیستم قدرت کمک کند. در پایان از دانشجویان: تحصیلات تکمیلی بخصوص Youyuan Durgesh Gautam و Siddharth KulasekaranJiang برای کمک در آماده کردن شکل‌ها و نتایج شبیه‌سازی و از خانم Sunanda Vittal به خاطر تصحیح و بازخوانی دقیق متن تشکر می‌کنیم.

Vijay Vittal

Raja Ayyanar

فوریه ۱۲-۱-۱۳۰۱ ریکا- ایالت آریزونا