



تبدیل نوان و کنترل سیستم‌های انرژی باد

نویسندگان

یونگکیانگ لانگ

سمیر کورو

بین وو

نوید زرگری

مترجم

دکتر محمدرضا بسمی (دانشیار دانشگاه شاهد)

۱۳۹۸

اداره انتشارات دانشگاه شاهد (۱۸۲)

عنوان و نام پدیدآور	تبدیل توان و کنترل سیستم‌های انرژی بادنویسندگان: بین وو ... [و دیگران]:
مشخصات نشر	مترجم: محمدرضا بسمی.
مشخصات ظاهری	تهران: دانشگاه شاهد، مرکز چاپ و انتشارات، ۱۳۹۸.
فروست	۵۷۴ ص:، صور، جدول.
شابک	اداره انتشارات دانشگاه شاهد؛ ۱۸۲.
وضعیت فهرست نویسی	۶-۷۹-۶۱۲۱-۶۰۰-۹۷۸-۶۰۰
یادداشت	فیبا
یادداشت	نویسندگان بین وو، یونگکیانگ لانگ، نوید زرگری، سمیر کورو.
یادداشت	عنوان اصلی: c2011، Power conversion and control of wind energy systems
موضوع	کتابنامه.
موضوع	سیستم‌های تبدیل انرژی باد
شناسه افزوده	Wind energy conversion systems
شناسه افزوده	وو، بین، ۱۹۵۷ - م.
شناسه افزوده	Wu, B. (Bin)
شناسه افزوده	بسمی، محمدرضا، ۱۳۳۸ - مترجم
رده بندی کنگره	دانشگاه شاهد، مرکز چاپ و انتشارات
رده بندی دیویی	۶۲۱.۳۱۳۲
شماره کتابشناسی ملی	۹۱۶۰۷



عنوان کتاب: تبدیل توان و کنترل سیستم‌های انرژی باد

مترجم: محمدرضا بسمی

تعداد: ۵۰۰ نسخه

نوبت و سال چاپ: اول - ۱۳۹۸

قیمت: ۵۸۵۰۰۰ ریال

نشانی ناشر: تهران، ابتدای آزادراه خلیج فارس، روبه‌روی حرم مطهر امام خمینی (ره)،
معاونت پژوهش و فناوری، اداره انتشارات دانشگاه شاهد

دورنگار: ۵۱۲۱۵۱۲۴

تلفن: ۵۱۲۱۴۱۲۲

فهرست مطالب

ط.....	فهرست اشکال	
ق.....	فهرست جداول	
ث.....	پیشگفتار مؤلفین	
ذ.....	پیشگفتار مترجم	
غ.....	لیست علائم	
ک.....	لیست علائم اختصاری	
۱.....	فصل اول: مقدمه	
۳.....	۱-۱ مقدمه	
۳.....	۲-۱ نگاهی کلی به سیستم‌ها، تبدیل انرژی بادی	
۳.....	۱-۲-۱ ظرفیت نصب بده و نرخ رشد	
۵.....	۲-۲-۱ توربین‌های بادی کوچک بزرگ	
۶.....	۳-۲-۱ کاربردهای منفصل و متصل شبکه	
۷.....	۴-۲-۱ کاربردهای دریایی و زمینی	
۱۰.....	۵-۲-۱ هزینه‌های سیستم‌های تبدیل انرژی بادی	
۱۳.....	۳-۱ فناوری توربین باد	
۱۳.....	۱-۳-۱ توربین‌های بادی محور افقی - عمودی	
۱۶.....	۲-۳-۱ توربین‌های سرعت ثابت و متغیر	
۱۷.....	۳-۳-۱ کنترل‌های توان آیرودینامیکی پیچ و استال	
۱۸.....	۴-۱ پیکربندی‌های سیستم مبدل انرژی باد	
۱۸.....	۱-۴-۱ سیستم‌های تبدیل انرژی باد سرعت ثابت بدون رابط مبدل توان	
۲۰.....	۲-۴-۱ سیستم‌های سرعت متغیر با مبدل‌های کاهش ظرفیت یافته	
۲۴.....	۳-۴-۱ سیستم‌های سرعت متغیر با مبدل‌های توان ظرفیت کامل	
۲۵.....	۵-۱ کد شبکه	
۲۶.....	۱-۵-۱ الزامات گذر از خطا	
۲۷.....	۲-۵-۱ کنترل توان راکتور	
۲۸.....	۶-۱ خلاصه	
۳۱.....	فصل دوم: اصول کنترل مبدل‌های تبدیل انرژی بادی	

۳۳	۱-۲ مقدمه
۳۳	۲-۲ اجزای توربین بادی
۳۵	۱-۲-۲ پره‌های توربین
۳۷	۲-۲-۲ مکانیزم پیچ
۳۸	۳-۲-۲ جعبه دنده
۴۰	۴-۲-۲ ترمز مکانیکی روتور
۴۱	۵-۲-۲ ژنراتورها
۴۳	۶-۲-۲ درایو یاو
۴۵	۷-۲-۲ برج و فونداسیون
۴۷	۸-۲-۲ حسگرهای بادی (داسنج)
۴۸	۳-۲-۲ آیرودینامیک توربین بادی
۴۸	۱-۳-۲ مشخصه‌های توان توربین بادی
۴۹	۲-۳-۲ کنترل توان آیرودینامیک: کنترل استال پیو، کنترل استال اکتیو و کنترل پیچ
۵۴	۳-۳-۲ نسبت سرعت نوک تیغه
۵۵	۴-۲ کنترل دنبال کننده نقطه توان حداکثر ($MPPT$)
۵۷	۱-۴-۲ دنبال کننده نقطه توان حداکثر با مشخصات توان
۵۷	۲-۴-۲ دنبال کننده نقطه توان حداکثر با سرعت نوک پره‌ی بهینه
۵۸	۳-۴-۲ دنبال کننده نقطه توان حداکثر با کنترل گشتاور بهینه
۵۹	۵-۲ خلاصه
۶۱	فصل سوم: مدل‌سازی ژنراتورهای بادی
۶۳	۱-۳ مقدمه
۶۴	۲-۳ تبدیل قاب مرجع
۶۵	۱-۲-۳ تبدیل قاب مرجع abc/dq
۶۸	۲-۲-۳ تبدیل قاب مرجع $abc/\alpha\beta$
۶۹	۳-۳ مدل ژنراتور القایی
۶۹	۱-۳-۳ مراحل ساخت
۷۰	۲-۳-۳ مدل بردار فضایی
۷۳	۳-۳-۳ مدل قاب مرجع dq
۷۴	۴-۳-۳ مدل شبیه‌سازی

۷۷.....	۳-۵ ویژگی های گذرای ژنراتور القایی
۸۱.....	۳-۶ مدار معادل حالت ماندگار
۸۸.....	۳-۴ ژنراتورهای سنکرون
۸۹.....	۳-۱-۴ ساختار
۹۲.....	۳-۴-۲ مدل دینامیکی ژنراتور سنکرون
۹۸.....	۳-۴-۳ مدار معادل حالت ماندگار
۱۰۳.....	۳-۵ خلاصه
۱۰۵.....	فصل چهارم: مبدل های توان در سیستم های تبدیل انرژی بادی
۱۰۷.....	۴-۱ مقدمه
۱۰۸.....	۴-۲ کنترل سی و اچ (راه انداز نرم)
۱۰۹.....	۴-۲-۱ کنترل ولتاژ AC تک فاز
۱۱۳.....	۴-۲-۲ کنترل ولتاژ AC سه فاز
۱۱۹.....	۴-۳ مبدل های بوست (افزاینده) ولتیج
۱۲۰.....	۴-۳-۱ مبدل بوست تک کانال
۱۲۵.....	۴-۳-۲ کانورتر افزایشده اینترلیو دو کانال
۱۳۰.....	۴-۳-۳ کانورترهای بوست اینترلیو چند کانال
۱۳۴.....	۴-۴ مبدل های منبع ولتاژ دوسطحی
۱۳۵.....	۴-۴-۱ مدولاسیون پهنای پالس سینوسی (SPWM)
۱۴۰.....	۴-۴-۲ مدولاسیون بردار فضایی
۱۴۷.....	۴-۴-۳ تحلیل هارمونیک
۱۵۰.....	۴-۵ مبدل های سه سطحی با نقطه اتصال ختبی
۱۵۱.....	۴-۵-۱ ساختمان مبدل
۱۵۳.....	۴-۵-۲ مدولاسیون بردار فضایی
۱۵۶.....	۴-۶ مبدل های منبع جریان مدولاسیون پهنای پالس
۱۵۷.....	۴-۶-۱ توپولوژی اینورترهای منبع جریان
۱۵۸.....	۴-۶-۲ حذف هارمونیک های انتخاب شده
۱۶۰.....	۴-۶-۳ مدولاسیون بردار فضایی
۱۶۷.....	۴-۶-۴ یکسو سازی منبع جریان مدولاسیون پهنای پالس
۱۶۹.....	۴-۷ کنترل اینورترهای متصل به شبکه

۱۷۱	۴-۷-۱ کنترل در راستای ولتاژ
۱۷۴	۴-۷-۲ کنترل در راستای ولتاژ به همراه کنترل‌کننده‌ی مجزا
۱۷۶	۴-۷-۳ عملکرد اینورتر متصل به شبکه به همراه کنترل در راستای ولتاژ و کنترل توان راکتیو
۱۸۰	۴-۸ خلاصه
۱۸۳	فصل پنجم: ساختارهای سیستم انرژی بادی
۱۸۵	۵-۱ مقدمه
۱۸۶	۵-۲ سیستم‌های تبدیل انرژی باد با سرعت ثابت
۱۸۶	۵-۲-۱ سیستم‌های تبدیل انرژی باد تک سرعت
۱۸۸	۵-۲-۲ سیستم‌های تبدیل انرژی باد دو سرعت
۱۸۹	۵-۳ سیستم‌های تبدیل انرژی باد با ژنراتور القایی سرعت متغیر
۱۸۹	۵-۳-۱ ژنراتور القایی و ترسیبی شده با مقاومت روتور خارجی
۱۹۱	۵-۳-۲ سیستم مبدل انرژی بادی با ژنراتور القایی دو سو تغذیه با مبدل توان کاهش یافته
۱۹۳	۵-۳-۳ سیستم‌های انرژی بادی رباتو، معایب قفس سنجابی با مبدل‌های توان ظرفیت کامل
۱۹۷	۵-۴ ژنراتورهای سنکرون سرعت متغیر
۱۹۷	۵-۴-۱ ساختار مبدل‌های پشت به پشت با تمام ظرفیت
۱۹۹	۵-۴-۲ ساختار یک‌سوسازهای دیودی و مبدل‌های DC/AC
۲۰۲	۵-۴-۳ ساختارهای با مبدل‌های توزیع شده برای ژنراتورهای چند سهم پیچ
۲۰۶	۵-۵ خلاصه
۲۰۹	فصل ششم: ژنراتور القایی سرعت ثابت
۲۱۱	۶-۱ مقدمه
۲۱۲	۶-۲ ساختار سیستم‌های تبدیل انرژی باد سرعت ثابت
۲۱۲	۶-۲-۱ توربین بادی
۲۱۳	۶-۲-۲ جعبه دنده
۲۱۳	۶-۲-۳ ژنراتور
۲۱۴	۶-۲-۴ راه‌انداز نرم
۲۱۵	۶-۲-۵ جریان ساز توان راکتیو
۲۱۵	۶-۲-۶ مشخصه اصلی و معایب آن
۲۱۷	۶-۳ اصول عملکرد
۲۱۷	۶-۳-۱ عملکرد سرعت ثابت ژنراتور القایی قفس سنجابی:

۲۱۸.....	۲-۳-۶ عملکرد دو سرعت در سیستم‌های تبدیل انرژی باد سرعت ثابت
۲۲۱.....	۴-۶ اتصال به شبکه با راهانداز نرم
۲۲۴.....	۵-۶ جبران‌سازی توان راکتیو
۲۲۹.....	۹-۶ خلاصه
۲۳۱.....	فصل هفتم: سیستم‌های انرژی بادی سرعت متغیر با ژنراتور القایی قفس سنجابی
۲۳۳.....	۱-۷ مقدمه
۲۳۴.....	۲-۷ کنترل مستقیم در راستای میدان (DFOC)
۲۳۴.....	۱-۲-۷ راستای میدان
۲۳۵.....	۲-۲-۷ کنترل مستقیم در راستای میدان برای ژنراتور القایی قفس سنجابی سیستم‌های انرژی بادی
۲۳۷.....	۳-۲-۷ محاسبه شار دوتور
۲۴۰.....	۴-۲-۷ تجزیه و تحلیل دینامیکی و حالت ماندگار کنترل در راستای میدان سیستم‌های تبدیل انرژی باد
۲۴۹.....	۳-۷ کنترل غیرمستقیم در راستای میدان
۲۴۹.....	۳-۷ اصل بهره‌برداری از کنترل غیرمستقیم در راستای میدان
۲۴۹.....	۲-۳-۷ تجزیه و تحلیل حالت پایداری سیستم انرژی باد ژنراتور القایی قفس سنجابی با کنترل غیرمستقیم در راستای میدان
۲۵۱.....	میدان
۲۵۴.....	۴-۷ کنترل مستقیم گشتاور
۲۵۴.....	۱-۴-۷ اساس کنترل مستقیم گشتاور
۲۵۶.....	۲-۴-۷ منطق کلید زنی
۲۶۰.....	۳-۴-۷ محاسبه شار استاتور و گشتاور
۲۶۰.....	۴-۷ بررسی حالت گذرای ژنراتور القایی قفس سنجابی سیستم‌های تبدیل انرژی باد با استفاده از کنترل مستقیم گشتاور
۲۶۱.....	گشتاور
۲۶۴.....	۵-۴-۷ بررسی حالت دائمی ژنراتور القایی قفس سنجابی سیستم‌های تبدیل انرژی باد با کنترل مستقیم گشتاور
۲۶۹.....	۵-۷ کنترل مبدل منبع جریان در سیستم‌های انرژی توربین بادی
۲۶۹.....	۱-۵-۷ مقدمه
۲۷۱.....	۲-۵-۷ کنترل مبدل منبع جریان سیستم‌های تبدیل انرژی باد با α متغیر و m ثابت
۲۷۵.....	۳-۵-۷ بررسی حالت دائمی مبدل منبع جریان سیستم‌های تبدیل انرژی باد
۲۸۳.....	۶-۷ خلاصه
۲۸۵.....	فصل هشتم: سیستم‌های تبدیل انرژی باد با ژنراتور القایی دو سو تغذیه
۲۸۷.....	۱-۸ مقدمه

۲۸۸	۲-۸ عملکرد فوق سنکرون و زیر سنکرون ژنراتور القایی دو سو تغذیه
۲۹۱	۳-۸ عملکرد ژنراتور القایی دو سو تغذیه در ضریب توان واحد
۲۹۱	۱-۳-۸ مدار معادل حالت دائم ژنراتور القایی دو سو تغذیه با مبدل سمت روتور
۲۹۸	۲-۳-۸ مشخصه گشتاور-لغزش سیستم انرژی بادی ژنراتور القایی دو سو تغذیه
	۳-۳-۸ تحلیل حالت-دائم سیستم‌های تبدیل انرژی باد ژنراتور القایی دو سو تغذیه در ضریب توان واحد
۳۰۰	($PF_S=1$)
۳۰۴	۴-۳-۸ ساده سازی محاسبات
۳۰۶	۴-۸ عملکرد در ضریب توان پیش فاز و پس فاز
۳۰۸	۵-۸ کنترل رستگاه ولتاژ استاتور سیستم‌های تبدیل انرژی باد ژنراتور القایی دو سو تغذیه
۳۰۸	۱-۵-۸ مفهوم کنترل رستگاه ولتاژ استاتور
۳۱۲	۲-۵-۸ بلوک دیاگرام سیستم
۳۱۴	۳-۵-۸ عملکرد دینامیکی سیستم تبدیل انرژی بادی ژنراتور القایی دو سو تغذیه
۳۱۹	۴-۵-۸ عملکرد حالت دائم سیستم تبدیل انرژی بادی ژنراتور القایی دو سو تغذیه
۳۲۵	۶-۸ راه‌اندازی و آزمایش‌های سیستم تبدیل انرژی بادی ژنراتور القایی دو سو تغذیه
۳۲۸	۷-۸ خلاصه
۳۳۱	فصل نهم: سیستم‌های انرژی بادی سرعت متغیر با ژنراتورهای سنکرون
۳۳۳	۱-۹ مقدمه
۳۳۳	۲-۹ ساختار سیستم
۳۳۵	۳-۹ کنترل ژنراتورهای سنکرون
۳۳۵	۱-۳-۹ کنترل جریان صفر (ZDC) محور d
۳۳۷	۲-۳-۹ کنترل گشتاور ماکزیمم در هر آمپر (MTPA)
۳۴۱	۳-۳-۹ کنترل ضریب توان واحد (UPF)
۳۴۲	۴-۳-۹ مقایسه‌ی کنترل‌های UPF و MTPA و ZDC
۳۴۹	۴-۹ سیستم انرژی بادی ژنراتور سنکرون با مبدل منبع ولتاژ پشت به پشت
۳۵۰	۱-۴-۹ سیستم تبدیل انرژی بادی ژنراتور سنکرون قطب صاف با کنترل ZDC و گشتاور بهینه
۳۵۱	۲-۴-۹ تحلیل حالت ماندگار و گذرای سیستم تبدیل انرژی بادی ژنراتور سنکرون با قطب صاف
	۳-۴-۹ سیستم تبدیل انرژی بادی ژنراتور سنکرون قطب برجسته با کنترل کننده‌های MTPA و فییدبک سرعت
۳۵۶	روتور
۳۵۸	۴-۴-۹ آنالیز حالت گذرا و ماندگار ژنراتور سنکرون قطب برجسته سیستم تبدیل انرژی بادی

۳۶۴.....	۵-۴ طرح کنترل دنبال کننده حداکثر نقطه توان سمت شبکه :
۳۶۶.....	۵-۹ رابط مبدل افزاینده DC/DC ژنراتور سنکرون سیستم انرژی بادی
۳۶۸.....	۶-۹ کنترل توان راکتیو ژنراتور سنکرون سیستم های تبدیل انرژی باد
۳۷۱.....	۷-۹ مبدل منبع جریان ژنراتور سنکرون با سیستم انرژی بادی:
۳۷۲.....	۷-۹-۱ مبدل منبع جریان سیستم های انرژی بادی با تأخیر زاویه کنترل:
۳۷۷.....	۷-۹-۲ سیستم انرژی باد مبدل منبع جریان با کنترل توان راکتیو
۳۸۰.....	۸-۹ خلاصه
۳۸۱.....	پیوست-الف: سیستم پریونیت
۳۸۳.....	پیوست-ب: پارامترهای ژنراتور
۳۸۳.....	ب-۱ ژنراتورهای عایق قفس سنجابی
۳۸۶.....	ب-۲ ژنراتورهای آلایمی تریه و گانه
۳۸۹.....	ب-۳ ژنراتورهای سنکرون
۳۹۱.....	پیوست ج: مسائل و راه حل ها

پیشگفتار مترجم

کتاب حاضر ترجمه کتاب POWER CONVERSION AND CONTROL OF WIND ENERGY SYSTEMS می باشد و تحت عنوان تبدیل توان و کنترل سیستم های انرژی باد. ترجمه شده است. این کتاب به عنوان یکی از مراجع اصلی درس ماشین های الکتریکی مدرن در دوره کارشناسی ارشد در دانشگاه های ایران از طرف وزارت علوم و فناوری انتخاب شده است. این کتاب با بیش از ۱۳۰ مثال حل شده از انواع مختلف ژنراتورهای استفاده شده در نیروگاه های کشورهای مختلف به همراه سیستم های کنترلی آنها می تواند به عنوان یک مرجع بسیار با ارزش در درس ماشین های الکتریکی مدرن مورد استفاده دانشجویان کارشناسی ارشد برار بگیرد. توضیحات لازم در خصوص محتوای این کتاب توسط مؤلفین این کتاب در پیشگفتار مؤلفین ارائه شده است و نیازی به توضیح بیشتر نمی باشد.

مسلماً، ترجمه این کتاب خیلی از خطا و اشکال نبوده و از کلیه اساتید، دانشجویان و مهندسی که این کتاب را مطالعه می نمایند تقاضای شد در رفع نواقص اینجانب را یاری نمایند. بر خود فرض می دانم از دانشجویان کارشناسی ارشد دانشگاه شهید که مرا در تهیه این کتاب یاری رساندند تشکر نمایم.

محمد رضا بسمی

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شاهد