هفته ملی پژوهش و فناوری

کنترل مستقیم توان ژنراتور جریان مستقیم بدون جاروبک با قابلیت استفاده در توربین‌های بادی کوچک

رضا حکیمی لقب، سید محمد مهدی موسوی

گروه مهندسی برق، دانشگاه صنعتی همدان
re.hakimilaghab@gmail.com

نمایشگاه هفته پژوهش و فناوری
دانشگاه صنعتی همدان
آذر1402

چکیده

با توجه به افزایش روزافزون استفاده از منابع تولیدپراکنده جهت تامین انرژی الکتریکی در مناطق دور از دسترس و همچنین کاربردهایی در حمل و نقل نظیر خودروسازی، انتخاب نوع ژنراتور یک چالش مهم محسوب می‌شود که ژنراتورهای جریان مستقیم بدون جاروبک با توجه به ویژگی‌های ذاتی‌شان نظیر راندمان بالا، چگالی توان به حجم و وزن بالا، هزینه پایین و سهولت در کنترل امروزه بطور گسترده در کاربردهای صنعتی، خانگی و کاربردهایی با کارایی بالا مورد توجه است. این پژوهش به بررسی، طراحی و شبیه‌سازی استراتژی کنترل مستقیم توان(DPC) برای ژنراتورهای جریان مستقیم بدون جاروبک (BLDC) می‌پردازد. جهت کنترل ژنراتور، روش کنترل مستقیم توان با توجه به مزایای آن بررسی و مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این در کاربردهای نظیر توربین های بادی، توان الکتریکی قابل‌دسترس با تغییر توان ورودی تغییر می‌کند، بدین منظور در کنار استراتژی فوق برای به حداکثر رساندن انرژی دریافت شده، از طرح ردیابی نقطه حداکثر توان (MPPT) نیز استفاده می‌گردد. مسائل طراحی، مدلسازی و کنترل یک توربین بادی مبتنی بر ژنراتور جریان مستقیم بدون جاروبک تمرکز اصلی این پژوهش است.

واژه های کلیدی : کنترل مستقیم توان، ژنراتور جریان مستقیم بدون جاروبک، میکروتوربین بادی، ردیابی نقطه حداکثر توان، کنترل‌کننده هیسترزیس

مقدمه

توربین‌های بادی کوچک، در کنار منابع تجدیدپذیر دیگر مانند پنل‌های خورشیدی به عنوان جایگزینی برای برخی کاربردها نظیر دیزل ژنراتور در ایستگاه‌های مخابراتی جدا از شبکه به منظور تغذیه باتری یا بارهای مخابراتی برای تامین سرویس بدون وقفه استفاده می‌شوند.

این پژوهش، مدل‌سازی و کنترل یک ژنراتور بدون جاروبک BLDC توربین بادی را پیشنهاد می‌کند. یک ردیاب نقطه حداکثر توان MPPT به منظور کنترل یکسوساز برای دریافت حداکثر توان در دسترس از توربین بادی به کار گرفته می‌شود. این امر منجر به افزایش بازده توربین و سیستم ژنراتور در مقایسه با روش‌های کنترلی مرسوم خواهد شد.

یکی از چالش‌های اصلی سیستم‌های قدرت بادی، توان، ولتاژ و فرکانس خروجی توربین‌های بادی است که نیاز به تنظیمات بیشتر دارند. در این پژوهش از استراتژی کنترل مستقیم توان جهت تعیین الگوی کلیدزنی سویئچ‌های اینورتر استفاده گردیده است، در این روش از مقایسه توان لینک دی سی با توان مرجع که توسط بلوک ردیاب حداکثر توان تعیین می‌گردد، و با رجوع به جدول کلیدزنی از پیش مشخص کلیدهای مد نظر روشن می‌گردد[۱].

مبدل‌های الکترونیک قدرت کارآمد و کنترلرهای پیشرفته باید برای ژنراتورها و مبدل‌های توان توسعه یابند و برای مسائل عملیاتی مستقل، سیستم‌های قدرت بادی مورد استفاده قرار گیرند[۲]. در این مطالعه یک ژنراتور BLDC مشابه شکل ۱ با یکسوساز سه ساق پیشنهاد شده‌است[۳],[۴]. این سیستم راندمان بالاتر، ردیابی نقطه حداکثر توان و کنترل موثر توان را در لینک dc فراهم می‌کند.

اهداف و روش پژوهش

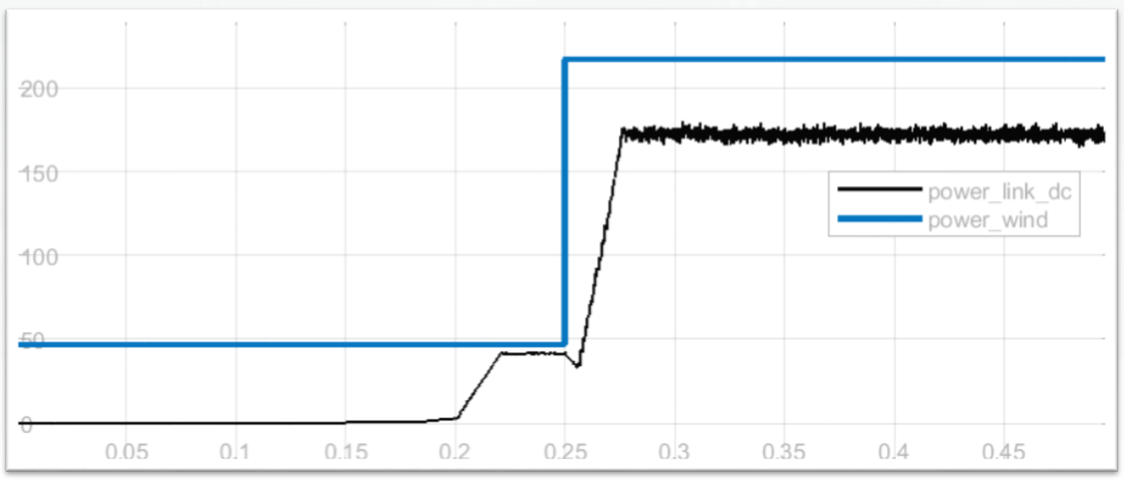
اهداف این پژوهش عبارتند از: پیاده سازی پروفیل باد با استفاده از یک سروو موتور به عنوان محرک اولیه، کاهش تلفات انرژی در ژنراتور BLDC با استفاده از سوئیچینگ فعال و اجرای MPPT و در نهایت مقایسه نتایج روش پیشنهادی با روشهای کنترلی دیگر تحت شرایط یکسان.

در این پژوهش یک ژنراتور BLDC کوپل با یک سروو موتور که حکم باد را برای توربین بازی می‌کند، مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرد. سیستم کنترلی پیشنهادی از نوع کنترل مستقیم توان می‌باشد و از الگوریتم ردیاب حداکثر توان جهت استحصال توان بیشینه در سرعت های متغیر باد استفاده خواهد شد، که بعد از شبیه سازی این سیستم کنترلی در نرم افزار MATLAB به صورت تجربی در آزمایشگاه مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج روش کنترلی مذکور با روش های کنترلی دیگر مقایسه شده و عملکرد و دقت روش پیشنهادی در تمامی حالات نسبت به روش‌های دیگر ارزیابی می‌گردد.

یافته‌های پژوهش

این پژوهش استفاده از استراتژی DPC را برای یک ژنراتور BLDC ارائه می‌دهد. تحلیل نظری سیستم تبدیل توان مبتنی بر DPC براساس PWM بردار فضایی و با استفاده از یکسوساز کنترل شده تمام پل مورد بررسی قرار گرفت. سیستم DPC توسعه‌یافته در سناریوهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت: تنظیم ولتاژ لینک DC در مقدار مرجع و ردیابی حداکثر توان قابل استحصال از توربین بادی. در مقایسه با استراتژی‌های کنترلی دیگر مانند استراتژی‌های مبتنی بر بردار، سیستم DPCپیشنهادی از تعداد کمتری از کنترل‌کننده‌ها و سنسورهای ولتاژ/جریان استفاده می‌کند.

هسته اصلی سیستم DPC مبتنی بر یک کنترل‌کننده توان هیسترزیس ساده است که به دلیل مزایای ذاتی کنترل‌کننده‌های هیسترزیس منجر به پاسخ دینامیکی سریع می‌شود. استراتژی کنترل پیشنهادی نیاز به سیگنال‌های سه سنسور موقعیت اثر هال دارد. علاوه بر این، وابستگی کمتر به پارامترهای ماشین ز دیگر مزایای آن است. نتایج تجربی صحت نتایج شبیه‌سازی و قابلیت‌های استراتژی DPC برای تبدیل توان ژنراتور BLDC را نشان داد.



شکل ۱. ردیابی حداکثر توان با تغییر سرعت باد

راهبردهای پیشنهادی

پژوهش انجام شده بر روی اجرای استراتژی کنترل مستقیم توان در توربین‌های بادی کوچک متمرکز بوده است، درحالیکه می‌توان از استراتژی فوق در زمینه ترمز احیاگر در خودروهای الکتریکی استفاده نمود. و همچنین در این پژوهش توان خروجی ژنراتور در حالت جدا از شبکه بر روی لینک دی سی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است، در حالیکه که در راستای توسعه ابعاد پژوهش می‌توان از اینورتر در خروجی لینک دی سی جهت اتصال سامانه به شبکه نیز استفاده کرد.

منابع

[1] Abolfazl Halvaei Niasar & Majid Moazzemi (2017) Design and Implementation of Direct Power Control System for Brushless DC Generator in Standalone DC Applications, Electric Power Components and Systems, 45:7, 752-762,

[2] F. Blaabjerg, Z. Chen, and S.B. Kjaer, "Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems," IEEE Transactions in Power Electronics, vol. 19, no. 5, September 2004, pp. 1184-1194.

[3] D. Vizireanu, S. Brisset, P. Brochet, Y. Milet, and D. Laloy,"Investigation of brushless dc ppropriateness to direct-drive generator wind turbine," in Proc., International Conference on Renewable Energy and Power Quality (ICREPQ), March 2005.

[4] H.-W. Lee, T.-H. Kim, and M. Ehsani, "Practical control for improving power density and efficiency of the BLDC generator," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 20, no. 1, Jan. 2005.

تایید استاد راهنما

نام و امضا استاد راهنما :

تایید تحصیلات تکمیلی :

تایید امور پژوهشی: