



استفاده از چرخ‌لنگر برای افزایش توان توربین بادی در لحظات شتاب‌گیری آن

عادلہ رضائی راد - دانشجوی کارشناسی ارشد انرژی‌های تجدیدپذیر - پژوهشکده انرژی - پژوهشگاه مواد و انرژی

غلامحسین ریاحی دهکردی - دانشیار دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

کمال عباسپورثانی - استادیار گروه تبدیل انرژی - دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد واحد تاکستان

E-mail: a.rezaeirad@yahoo.com

چکیده: روند رو به رشد مصرف انرژی از یک سو موجب ارتقای سطح فناوری سامانه‌های تولید انرژی شده و از سوی دیگر ضرورت بهره‌برداری از منابع انرژی‌های نو را ایجاب کرده‌است که از آن جمله می‌توان به توربین‌های بادی سرعت متغیر اشاره کرد. در این نوع توربین‌ها با تغییر سرعت باد، نقطه کار بهینه آنها تغییر کرده و در نتیجه انرژی خروجی تغییر خواهد کرد که باعث افت راندمان آنها می‌شود. در این مقاله برای افزایش راندمان این نوع توربین‌ها از چرخ‌لنگر برای شتاب‌دهی به توربین بادی در مواقع تغییر نقطه کار توربین استفاده شده است. در این حالت نشان داده می‌شود که با ذخیره و تبادل انرژی در چرخ‌لنگر در هنگام ایجاد نوسان سریع در سرعت توربین، می‌توان انرژی خروجی را افزایش داد و در نتیجه راندمان توربین افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: توربین بادی سرعت متغیر، چرخ‌لنگر، ژنراتور القایی از دوسو تغذیه، شتاب‌دهی توربین بادی.

Utilizing of Flywheel for Enhancement of Wind Turbine Output in Period of Accelerating

A. Rezae-rad, MS. Student, Dept. of Energy, Materials and Energy Research Center

G. H. Reyahi-dehkordi, Aso. Prof., The faculty of Elec. Eng., AmirKabir University of Technology

K. Abbaspoursani, Ass. Prof., Dept. of Energy Conversion, Faculty of Mech. Eng., TIAU

Abstract: The increasingly trend of the world energy consumption, it causes an enhancement of the energy production technologies from one side and from side; it brings out the necessity of the renewable utilization. In such way we can mention the utilization of the variable speed wind turbines in wind farms. In such turbines, when the wind speed is varying, their optimum operation point is varied and in a result the output energy will decrease and it may be causes a reduction in their efficiency. In this research, for increasing of this type of wind turbine, we use a flywheel in period of acceleration. It will be shown that with energy transfer and storage in flywheel, when there is a need for a fast fluctuation in turbine speed, could be able to increase of output energy and therefore increase the turbine efficiency.

Keywords: Variable speed wind turbine, Flywheel, Induction generator, and accelerating wind turbine.

۱- مقدمه

سرعت باد به (m/s) و C_p . ضریب توان توربین می‌باشد که توسط شرکت سازنده مشخص می‌گردد.

توربین‌ها شامل دو نوع کلی سرعت ثابت و متغیر می‌باشند. در توربین‌های سرعت ثابت، از ژنراتور القایی قفس سنجابی استفاده می‌شود و به علت سادگی و نیاز نداشتن به مبدل‌ها برای تنظیم فرکانس برق تولیدی برای اتصال به شبکه و همچنین تعمیرات و نگهداری آسان در مقیاس بزرگی از آنها استفاده می‌شود. در مقابل توربین‌های سرعت متغیر به علت نیاز به مبدل‌های فرکانسی پیچیده‌تر نسبت به توربین‌های سرعت ثابت گران‌تر می‌باشند ولی دارای راندمان بیشتری هستند. در توربین‌های سرعت متغیر از ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه (Doubly Fed Induction Generator, DFIG) ژنراتورهای مغناطیس دائم (Permanent Magnet Synchronous Generator) و یا ژنراتورهای سنکرون (Synchronous generator) استفاده می‌شود.

۲-۲- چرخ طیار

چرخ طیار وسیله‌ای است که انرژی را به صورت انرژی جنبشی در یک جسم چرخنده ذخیره می‌نماید. سالیان متوالی از چرخ طیار فقط به عنوان هموار ساز حرکت ماشین استفاده می‌شد. اما در اواخر قرن بیستم و با تولید مواد کامپوزیت و یاتاقان‌های مغناطیسی، تولید چرخ طیار به عنوان سیستم ذخیره کننده انرژی آغاز شد. با پیشرفت در زمینه مواد کامپوزیت برای امکان افزایش سرعت چرخشی، یاتاقان مغناطیسی برای کاهش تلفات و همچنین الکترونیک قدرت برای کار در توان‌های بالا، چرخ طیار وسیله قابل رقابت با دیگر سیستم‌های ذخیره انرژی شد. طبق رابطه انرژی ذخیره شده در چرخ طیار:

$$E = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2 \quad (2)$$

که:

امروزه به دلیل گرم شدن کره زمین و همچنین محدود بودن منابع انرژی فسیلی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش یافته است. در بین انرژی‌های پاک، انرژی بادی مقرون به صرفه بوده و فناوری ساخت توربین‌های بادی در حال رشد است. همانطور که در شکل (۱) دیده می‌شود استفاده از انرژی بادی در سطح جهان رو به رشد است.

توربین‌های بادی موجود در ایران از نوع سرعت ثابت می‌باشند. عملکرد این توربین‌ها در سرعت ثابت باعث می‌شود توربین بادی همواره در نقطه کار بهینه قرار نگیرد که این امر باعث کاهش انرژی استحصالی از توربین می‌شود. با استفاده از توربین‌های بادی سرعت متغیر می‌توان توربین را در نقطه کار بهینه خود قرار داد. در این حالت با تغییر سرعت باد، نقطه کار بهینه توربین تغییر کرده و سرعت توربین کاهش یا افزایش می‌یابد. در این مقاله تلاش شده است که در زمانهای تغییر سرعت توربین، با استفاده از چرخ طیار (Flywheel) به توربین شتاب داده شود تا بتوان راندمان توربین را بالا برد. در نهایت به مقایسه توان استخراجی از توربین در دو حالت حضور و عدم حضور چرخ طیار پرداخته می‌شود.

۲- تئوری

۱-۲- توربین بادی

توان خروجی از توربین بادی توسط رابطه زیر بیان می‌شود:

(۱)

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho \pi R^2 V_w^3$$

که در آن، P ، توان آئرو دینامیکی بدست آمده از توربین به (W) ، ρ ، چگالی هوا به (kg/m^3) ، R ، شعاع پره به (m) ، V_w ،

(۳)

$$I = \int \rho(x)r^2 dx$$

که در روابط فوق، E انرژی ذخیره شده در چرخ طیار به (J)، ω ، سرعت چرخشی به (rad/s) و I ، ممان اینرسی چرخ طیار به (Kg m^2) می‌باشد، مشاهده می‌شود که برای افزایش انرژی ذخیره شده در چرخ طیار، افزایش سرعت چرخشی نسبت به افزایش جرم آن مطلوب‌تر است.

از مزایای چرخ طیار می‌توان به چگالی توان بالا، وابسته نبودن طول عمر آن به عمق تخلیه انرژی، سهولت در اندازه‌گیری لحظه‌ای وضعیت شارژ و همچنین پایین بودن هزینه تعمیرات و نگهداری نام برد. به علاوه پایین بودن پاسخ زمانی چرخ طیار، این وسیله را برای بالانس شبکه و نیز کاربرد در این پروژه مناسب می‌سازد.

۳- شبیه سازی

در این مقاله توربین بادی ۱/۵ مگاواتی مجهز به ژنراتور DFIG در نرم‌افزار MATLAB/SIMULINK مدل شده است. مشخصات توربین و چرخ طیار شبیه‌سازی شده در جدول (۱) درج شده است.

معادله ضریب توان توربین بادی مطابق مرجع [۲] به صورت زیر می‌باشد و منحنی آن بر حسب سرعت نوک پره در شکل (۲) درج شده است:

$$Cp(\lambda, \beta) = 0.22 \left(\frac{116}{\lambda} - 0.4\beta - 5 \right) e^{\frac{12.5}{\lambda}} \quad (4)$$

که در آن λ_i برابر است با:

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (5)$$

که در آن λ سرعت نوک پره و β زاویه چرخش (Pitch Angle) پره می‌باشد.

معادله گشتاور چرخ طیار به صورت زیر است:

$$T_{fw} = I_{fw} \frac{d\omega_T}{dt} \quad (6)$$

که در آن، T_{fw} ، گشتاور چرخ طیار و ω_T ، سرعت چرخشی توربین بادی می‌باشد. معادله دیفرانسیل اتصال چرخ طیار به توربین بادی به صورت زیر می‌باشد:

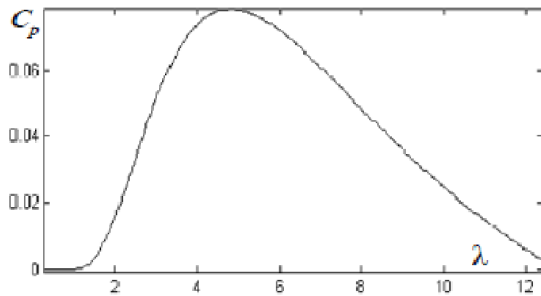
$$T_g = J_t \frac{d\omega_t}{dt} + D_g \omega_g + T_\ell + J_{fw} \frac{d\omega_{fw}}{dt} + D_{fw} \omega_{fw} \quad (7)$$

که در آن، J_t ، ممان اینرسی توربین بادی، ω_t ، سرعت چرخشی توربین، $D_g \omega_g$ ، تلفات توربین، T_1 ، گشتاور بار، J_{fw} ممان اینرسی چرخ طیار، ω_{fw} ، سرعت چرخشی چرخ طیار و $D_{fw} \omega_{fw}$ تلفات چرخ طیار می‌باشد. سیستم شبیه‌سازی شده توربین و چرخ طیار در شکل (۲) nv شده است.

۴- نتایج

برای مقایسه توان خروجی توربین در حالت حضور و عدم حضور چرخ طیار، پروفیل باد وارد شده به سیستم از نوع پله‌ای در بازه زمانی ۱۰۰ ثانیه می‌باشد که دارای یک کاهش سرعت از ۱۲ m/s به ۸ m/s در زمان ۳۰ و یک افزایش سرعت از ۸ m/s به ۱۴ m/s در زمان ۷۰ دارد.

نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی سیستم در شکل (۴) نمایش داده شده است. با توجه به نمودار سرعت توربین مشاهده می‌شود که در زمان کاهش یا افزایش سرعت باد، توربین در زمان



شکل (۲): منحنی ضریب توان توربین بادی

کمتری به سرعت بهینه خود می‌رسد و همچنین با توجه به نمودار توان خروجی ژنراتور می‌توان مشاهده نمود که در حضور چرخ طیار توان خروجی از توربین بادی افزایش یافته است که این به معنی افزایش راندمان توربین بادی می‌باشد.

۵- مراجع

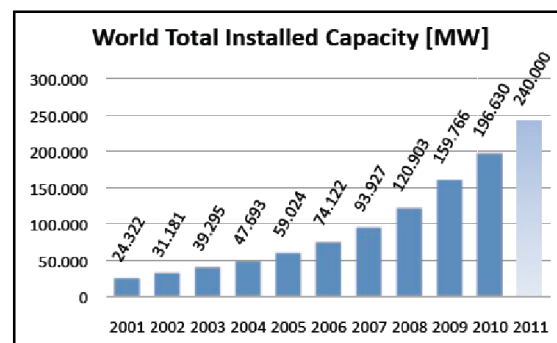
[۱] ابوالفضل طاهرخانی، اف.، "طراحی و ساخت مکانیزم موقعیت‌دهی دقیق با ضربه نیوماتیک"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

جدول (۱): مشخصات سیستم شبیه‌سازی شده

مقدار عددی	مشخصات توربین
۱/۵ MW	ظرفیت توربین
القایی از دو سو تغذیه	نوع ژنراتور
۷۷ m	قطر توربین
۱۴ m/s	سرعت باد نامی
۴ m/s	حداقل سرعت باد
۲۵ m/s	حداکثر سرعت باد
۵۰۰ Kg m ²	ممان اینرسی چرخ طیار

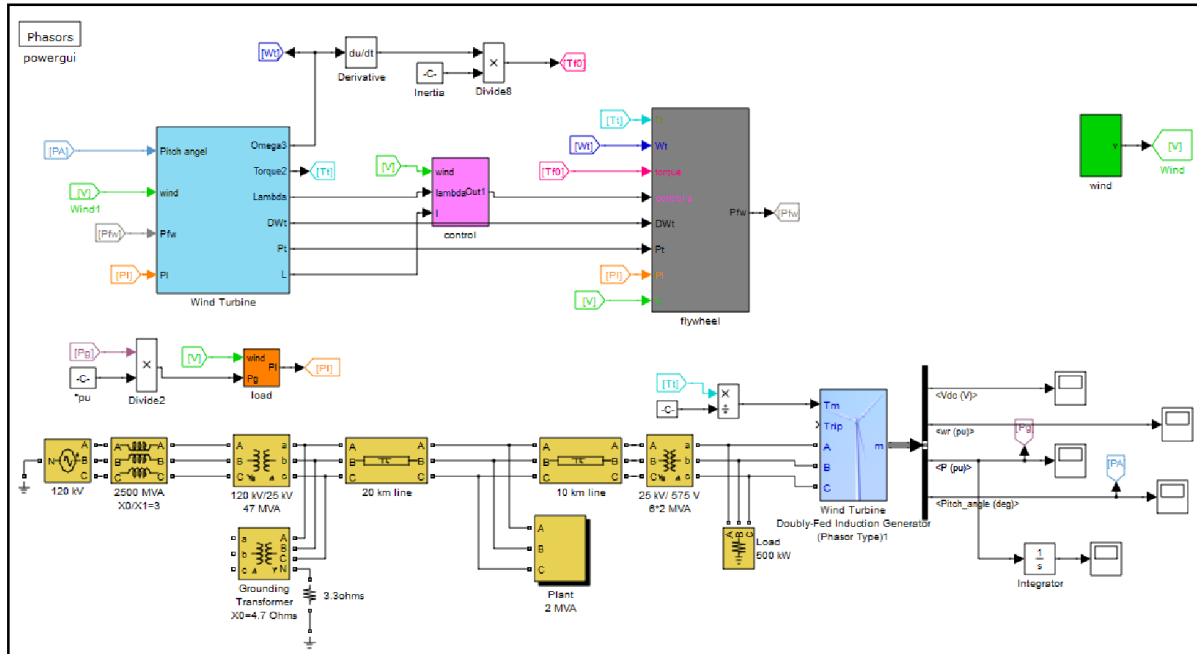
- [2] Kouklan, M. H., Higuchi, T., and Hojjat, Y., 1998, "Theoretical Analysis of Positioning by Air Impact Drive", *Spring Conf. Meeting of Precision Engineering Proc.*, Japan.
- [3] Patankar, S.V. and Suhas, V., 1987, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", *McGraw-Hill, New York*, 1987.
- [4] Hojjat, Y. and Higuchi, T., 1991, "Application of Electromagnetic Impulsive Force to Precise Positioning", *Int. J. of Japan Society of Precision Engineering*, Vol. 25, No.1.

شکل (۱) - شبکه محاسباتی برای لوله عمودی به صورت دوبعدی

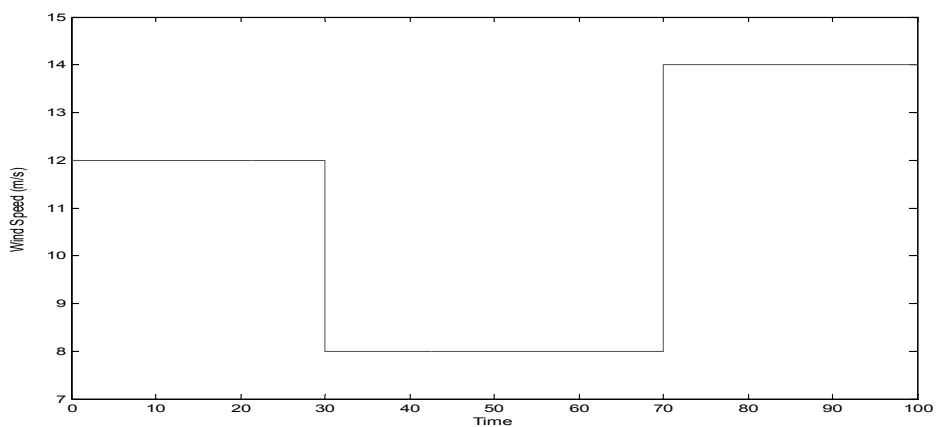


شکل (۱): ظرفیت انرژی بادی نصب شده در جهان تا سال ۲۰۱۰

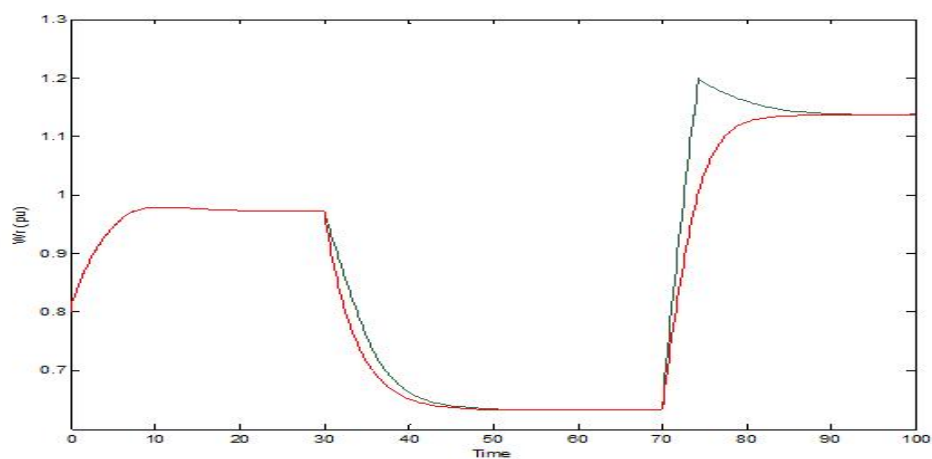
[۱]



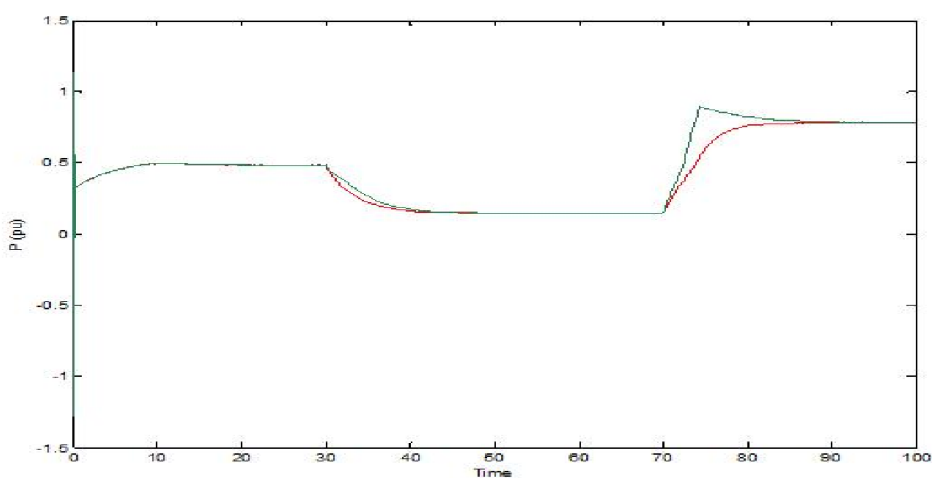
شکل (۳): سیستم توربین بادی - چرخ طیار شبیه سازی شده در MATLAB/ SIMULINK



الف) تابع ورودی شبیه‌ساز (پروفیل سرعت پله‌ای)



ب)



ج) توان خروجی توربین

شکل (۴): نتایج شبیه‌سازی برای توان توربین و سرعت باد با تابع ورودی پله‌ای (گام زمانی برابر با: ۱۰۰ ثانیه)