طراحی سیستم ذخیرهساز انرژی مبتنیبر کنترلر منطق فازی نوع IIجهت کاهش نوسانات ولتاژ لینک DC توربین بادی ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم

علی درویش فالحی استادیار، دانشکده مهندسی برق، واحد شادگان، دانشگاه آزاد اسلامی، شادگان، ایران a_darvishfalehi@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۱۹

چکیده: این مقاله به منظور کاهش نوسانات ولتاژ لینک DC در سیستم تبدیل انرژی بادی سرعت متغیر مبتنیبر ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم ارائه میشود. در لینک DC مربوط به PMSG از یک سیستم ذخیرهسازی انرژی چرخ طیار متصل به ماشین القایی قفس سنجابی استفاده میشود. هدف بکارگیری از FESS کاهش نوسانات ظاهر شده در توان تزریقی به شبکه و تنظیم شارش توان است که از طریق ارسال/دریافت توان از FESS به هنگام بیشبود/کمبود توان شبکه صورت میپذرد. جهت بهبود عملکرد PMSG و کنترل ولتاژ لینک DC کنترلکننده منطق فازی نوع II پیشنهاد میشود که مورد مطالعه و مقایسه با دو کنترلکننده کنترلر IP منطق فازی نوع I قرار میگیرند. از مبدل متصل به شبکه به منظور کنترل مجزای توان اکتیو و راکتیو جهت بهرهبرداری در ضریب توان واحد استفاده میشود. مدل دینامیکی سیستم پیشنهادی با استفاده از نرمافزار MATLAB-Simulink شبه است و نتایج بدست آمده عملکرد مناسب کنترلکننده پیشنهادی را به اثبات میرساند.

واژههای کلیدی: سیستم تبدیل انرژی، توربین بادی ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم، سیستم ذخیره سازی انرژی چرخ طیار، کنترلکننده منطق فازی نوع II.

۱- مقدمه

در حال حاضر جامعه جهانی درصدد کاهش مؤثر مصرف سوختهای فسیلی جهت تولید برق می،اشد که تاثیر بسزایی در تغییر اقلیم جهانی داشته است. در واقع تغییرات آب و هوایی در ارتباط مستقیم با تولید گازهای گلخانهای می،اشد[2,1]. سیستمهای الکتریکی در مقایسه با دیگر سیستمهای انرژی از منابع انرژی با آلودگی کمتر میتواند بهرهمند شوند. با توجه به افزایش تقاضای بیش از حد انرژی الکتریکی و همچنین مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف سوختهای فسیلی، بکارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر جهت تولید برق بصورت قابل توجهی افزایش اینژی تجدیدپذیر است تا نگرانیها از کاهش منابع سوخت فسیلی و آلودگیهای زیست محیطی کاهش یابد[3]. با توجه به پیشرفت و توسعه منابع مربوط به سیستمهای الکتریکی و مکانیکی و همچنین تشویق

سرمایهگذاران در چند سال اخیر تولید انرژی الکتریکی از انرژی باد توانسته است براساس تغییرات آب و هوایی و امنیت منبع انرژی در میان منابع تولید توان الکتریکی رشد چشمگیری داشته باشد[4]. هماکنون تولیدکنندگان توربینهای بادی متعددی در سراسر جهان وجود دارند که جهت افزایش قابلیت عملکرد آنها از ساختارهای متنوعی ژنراتورها و مبدلهای الکترونیک قدرت استفاده میشود[5]. اصولاً توربینهای بادی در دو نوع سرعت ثابت و متغیر باد انرژی الکتریکی را تولید میکنند. با افزایش اندازه توربینهای بادی، تکنولوژی ساخت آن ها از نوع سرعت ثابت به سرعت مایر کرده است چراکه این نوع توربینها در مقایسه با توربینهای سرعت ثابت بازدهی بسیار بالاتری دارند[7,6].

به دلیل راهاندازی مستقیم ژنراتورهای سنکرون آهنربا دائم نسبت به دیگر ژنراتورهای توربین بادی سرعت متغیر در برخی کاربردها بیشتر مورد توجه قرار گرفتهاند. این ژنراتورها ممکن است به صورت طرح

چندقطبی و ساختار بدون دنده باشند که عملکرد سرعت پایینی داشته و به دلیل عدم حضور جاروبکها نیاز کمتری به تعمیر و نگهداری دارند[8]. در این نوع ژنراتورها جهت استخراج حداکثر توان بادی موقع اتصال به شبکه، کنترل پذیری کاملی وجود خواهد داشت و در حالت وقوع خطا نیز قابلیت عملکردی بالاتری را ارائه میدهد و پشتیبانی شبکه نیز از آن صورت می پذیرد. بنابراین، راندمان و قابلیت اطمینان این نوع توربین بادی در مقایسه با دیگر توربین بادی سرعت متغیر بیشتر می-باشد[9].

با توجه به اینکه توان خروجی توربینهای بادی تابع سرعت وزش باد بوده و عدم امکان تعیین دقیق سرعت وزش باد، توان خروجی توربین بادی دارای عدم قطعیت است که از دو منظر قابل بررسی است[10]. در اولين منظر ،به اين دليل كه توان خروجي اين منابع قابل پيشبيني دقیقی نمی باشد، جهت افزایش قابلیت اطمینان شبکه و تأمین انرژی مورد نیاز مصرفکنندگان حتی در مدت زمان کاهش وزش بادنیازمند ذخیرهسازهای انرژی هستیم. در این صورت، چنانچه توان تولیدی منابع بادی از مقدار مورد انتظار کمتر باشد، مقدار کسری توان از طریق ذخیره سازهای انرژی تأمین میشوند و نیز در حالتی که توان تولیدی منابع بادی بیش از مقدار پیشبینی شده باشد، توان اضافی تولیدی در ذخیره سازهای انرژی ذخیره شده تا در زمانهای پیک مصرف مورد استفاده قرار گیرد. لذا، در نظر گرفتن عملکرد ذخیرهسازهای انرژی در حضور منابع بادی اهمیت دوچندانی دارد. از دیگر منظر به دلیل ماهیت متغیر توان توليدي منابع بادي، ولتاژ سيستم تحت نوسانهاي شديدي است که استفاده از روش کنترلی کارآمد جهت کاهش نوسانات ولتاژ دارای اهمیت زیادی است[13-11].

در مرجع[14] یک سیستم تبدیل انرژی باد مستقل مجهز به کنترل ردیاب حداکثر توان جهت انتقال ماکزیمم توان ارائه شده است. در این مقاله یک سیستم بادی PMSG مستقل از شبکه درنظر گرفته شده است که مجهز به سیستم کنترل mppt حلقه بسته است که توسط lookup table کنترل توان خروجی آن با تنظیم سرعت شفت میکند صورت می پذیرد.

در مرجع [15] یک استراتژی حداکثر تولید توان مستقل برای سیستمهای تبدیل انرژی باد پیشنهاد شد که سیستم کنترل mppt آن مبتنیبر هیسترزیس مستقل از مشخصه ژنراتور-توربین بوده است.

در مقاله [16] یک اینورتر منبع جریان جهت جبرانسازی توان اکتیو PMSG پیشنهاد شد. توربین PMSG آن بصورت متصل به شبکه با مدل مبدل سمت ژنراتور رکتیفایر دیودی بوده و مبدل سمت شبکه آن نیز بصورت اینورتری تایریستوری بوده است.

در مرجع [17] یک روش کنترل d-p ارائه شد که بدون وجود سنسور mppt ردیابی نقطه حداکثر توان توربین بادی PMSG انجام میشود. عملکرد آن بر اساس کنترل مستقل توان اکتیو و راکتیو تولیدی توسط توربین بادی توسط جریان محورهای d و q میباشد، و همچنین ردیابی نقطه حداکثر توان توربین بادی با استفاده از کنترل جریان db ورودی

به مبدل بوست برای دستیابی به سیگنال بهینه جریان مرجع انجام می-شود.

در همین راستا این مقاله یک توربین بادی PMSG را مورد مطالعه قرار می دهد که مستقیما به شبکه متصل می باشد که لینک DC آن به یک سیستم ذخیره ساز انرژی چرخ طیار (FESS) مجهز است. این سیستم FESS سرعت پایین از یک چرخ طیار متصل به ماشین القایی قفس سنجابی کلاسیک استفاده می کند[18]. در طی این سالها مطالعات و تحقیقات صنعتی متعددی در خصوص بکارگیری از سیستمهای ذخیره ساز چرخ طیار را با توجه به مزیتهای بیشمار آنها اعم از شده اند. اگر چه مدتهای زیادی از چرخهای طیار استفاده شده است شمارف انرژی بادی بسیار بالا رفته است. باوجود این که سیستمهای مصارف انرژی بادی بسیار بالا رفته است. باوجود این که سیستمهای این مدت زمان برای توربینهای بادی که اغلب در مناطق بادخیز نصب می گردند مناسب است[12-19].

این سیستم FESS به منظور کاهش نوسانات تولیدی در توان تزریقی به شبکه و تنظیم شارش توان ارائه میشود. سیستم ذخیرهساز انرژی هم در زمانهای عملکرد نامی سیستم و نیز در زمانهای اغتشاشی توربین بادی را حمایت میکند تا پایداری سیستم حفظ شود [22]. در زمان بروز اغتشاش از سیستم ذخیرهساز انرژی جهت ذخیرهسازی انرژی اضافی در سیستم توربین بادی در شبکه قدرت استفاده میشود تا ولتاژ لینک DC در مقدار نامی خود با کمترین نوسان محفوظ بماند. یکی از مشکلات اصلی این سیستم، استراتژی کنترلی بخشهای مختلف توربین بادی و سیستم SESS و همچنین راندمان کلی و عملکرد دینامیکی آن است. لذا جهت کاهش نوسانات ولتاژ از کنترل کننده منطق فازی نوع II استفاده میشود. در دهه گذشته کنترلرهای منطق فازی (FLC) برای آنالیز و کنترل سیستمهای غیرخطی بکارگیری میشدند. کنترلر فازی، کنترلری مبتنی بر توصیف بوده که سرعت و دقت پاسخی بالایی دارد و طراحی آن مبتنی بر دانش و تجربه فرد خبره است که این کنترل کننده وابستگی به مدل سیستم تحت مطالعه ندارد.

در مقایسه با کنترل کنندههای مرسوم که جهت افزایش عملکرد توربین بادی از روش ترکیبی تنظیم ضرایب کنترل کننده تناسبی با استفاده از از کنترل کننده فازی نوع I انجا میشود، این مقاله برای افزایش عملکرد توربین بادی ضرایب کنترل کننده تناسبی و انتگرالی را حذف کرده و از سیستم تکمیلی مبتنیبر کنترل کننده منطق فازی نوع II استفاده شده است تا اینکه نوسانات ولتاژ و جریان کاهش یابد.

در حقیقت کنترلکننده منطق فازی نوع II تنظیم و کنترل مولفههای qp جریان استاتور PMSG را بعهده می گیرد که مورد مطالعه و مقایسه با دو کنترلکننده کنترلر PI و منطق فازی نوع I قرار می گیرند. سیگنال-های خطا در سیستم کنترلی مبتنیبر کنترلکننده فازی نوعII ولتاژ شبکه را در تمام شرایط بارگیری شبکه از کم باری تا بار کامل در محدوده مجاز نگه میدارد. همچنین این قابلیت را دارد که در مدت زمان اغتشاش توربین بادی ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم با وجود آن عملکرد مناسبی را ارائه دهد. چراکه کنترل کننده فازی میتواند با عدم قطعیتهای شبکه ناشی از غیرخطی بودن آن و نیز ماهیت متغیر سرعت باد سیگنالهای مناسبی را به سیستم کنترلی شبکه قدرت تزریق کند.

۲- مدلسازی ژنراتور بادی سرعت متغیر

از الزامات اساسی در مطالعه این سیستم، مدلسازی توربین باد، ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم، سیستم کنترل توربین-ژنراتور است که در زیربخش پیشرو به آن پرداخته میشوند.

۲-۱- مدلسازی توربین باد

توان ایرودینامیکی روتور توربین بادی معمولا به فرم زیر ارائه میگردد [23]:

$$P_{t} = \frac{1}{2} \rho \pi R_{t}^{2} v^{3} C_{p} \left(\lambda, \beta \right)$$
⁽¹⁾

The second sec

$$\lambda = \frac{R_t \Omega_t}{v} \tag{(1)}$$

در این رابطهΩ بیانگرسرعت مکانیکی توربین است که برحسبهrad/sمیباشد. لذا گشتاور مکانیکی توربین را میتوان بصورت زیر ارائه داد[23]:

$$T_t = \frac{1}{2} \rho \pi R_t^3 v^2 C_t(\lambda, \beta) \tag{(7)}$$

در این رابطه (*Ct(λ,β*بیانگر ضریب گشتاور توربین است که بصورت زیر ارائه می شود[23]:

$$C_{t}(\lambda,\beta) = \frac{C_{p}(\lambda,\beta)}{\lambda}$$
(f)

مدل مکانیکی شفت انتقالدهنده انرژی از روتور به ژنراتور را میتوان بصورت زیر ارائه داد:

$$J_T \frac{d\Omega_t}{dt} = T_t - T_{em} - f\Omega_t - T_s \tag{(a)}$$

در این رابطه T_r آو T_e به ترتیب بیانگر گشتاور توربین، گشتاور الکترومغناطیسی و گشتاور اصطکاکی هستند که برحسبn.m می باشند. f ضریب ثابت اصطکاک ویسکوزیته است که بر حسب¹-n.m.s.radمی-باشد.

اکثر توربینهای بادی مورد استفاده برمبنای سرعت متغیر هستند که در آنها از یک محرک جهت کنترل زاویه گام پرهها به منظور کاهش

ضریب توان Cp و اطمینان از تثبیت مقدار توان استفاده میشود. یک مدل از زایه گام را بصورت زیر میتوان ارائه داد:

$$\beta = \frac{1}{1 + \tau_b s} \beta_{ref} \tag{9}$$

کهs عملگر لاپلاس وτ_b ثابت زمانی میباشد.

$$\beta_{ref} = \begin{cases} \beta_0 = -2 & \text{for } \Omega_t > \Omega_{tn} \\ \frac{\Delta\beta}{\Delta\Omega} (\Omega_t - \Omega_{tn}) + \beta_0 & \text{for } \Omega_t > \Omega_{tn} \end{cases}$$
(Y)

در این رابطه β_0 زاویه گام اولیه یا مرجع پرهها میباشد که برحسب درجه ارائه میشود. بلوک دیاگرام سیستم کنترل زاویه گام در شکل ۱ ارائه شده است.



۲-۲- مدلسازی ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم

مدل پارک مدلی دینامیکی رایج برای PMSGمیباشد. با حذف مؤلفه-های اعوجاج هارمونیکی و صرفاً درنظر گرفتن هارمونیک اصلی مدل ساده آن حاصل میشود که جریانهای استاتور مربوط به آن با روابط دینامیکی زیر ارائه میشوند[24]:

$$\begin{cases} \frac{di_{sd}}{dt} = \frac{1}{L_s} \left(v_{sd} - R_s i_{sd} + L_s p \Omega_t i_{sq} \right) \\ \frac{di_{sq}}{dt} = \frac{1}{L_s} \left(v_{sq} - R_s i_{sq} - L_s p \Omega_t i_{sd} - p \Omega_t \phi_a \right) \end{cases}$$
(A)

در این رابطه R_s مقاومت فاز سیمپیچ استاتور برحسب Ω_s اندوکتانس استاتور برحسب Φ_a ، الرحسب و زیرنویسهای ϕ_a ، الرحسب فشاندهنده مولفههای محور p_g ولتاژ و جریان استاتور میباشند. و نیز ثابت و نشاندهنده جفت قطبها می-باشد. در ادامه گشتاور الکترومغناطیسی را میتوان بصورت زیر ارائه داد:

$$T_{em} = p\phi_a i_{sq} \tag{9}$$

۲-۳- مدلسازی سیستم کنترل ژنراتور بادی

جهت ماکزیمم بهرهبرداری از سیستم VSWG، بایستی سیستم کنترلی دقیقی درنظر گرفت. ساختار کنترلی کلی VSWG تحت مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است. مطابق شکل، کنترل کننده بشدت به سرعت اندازه گیری شده توربین مΩوابسته است. درصورتیکه توان توربین کمتر از توان نامی آن باشد، از سیستم ردیابی ماکزیمم

dezful.iau.ir on 2025-07-09

11 -No. 4- Winter 202

توان(MPPT) جهت تعیین گشتاور مرجع PMSG استفاده می شود. و در صورتیکه توان باد از مقدار نامی بیشتر باشد، زاویه گام پرههای توربین بایستی جهت تثبیت توان کنترل شوند. پس از آن در سیستم کنترلPMSG، مقادیر مرجع جریانهای استاتور بدست آمده و مبدل، با استفاده از کنترل کنندههای PI جریانهای استاتور را کنترل می کنند.



شکل (۲): بلوک دیاگرام سیستم کنترل ژنراتور باد سرعت متغیر

برای کنترل توان VSWG، کافیست که گشتاور الکترومغناطیسی دقیق Tem، PMSG محاسبه شود. درکل میتوان با انتخاب مقدار مرجع Tem, ref ، گشتاور الکترومغناطیسی را بدست آورد. با استفاده از ردیاب حداکثر توان، میتوان گشتاور الکترومغناطیسی مرجع را بدست آورد[24]:

$$T_{em,ref} = \frac{P_{MPPT}}{\Omega_t} = K \Omega_t^2$$
 (1.)

که توان در MPPT بصورت زیر است[24]:

$$P_{MPPT} = \frac{\rho \pi R_t^{\ 5} C_{p,max}}{2\lambda_{opt}^3} \Omega_t^3 = K \Omega_t^3 \tag{11}$$

در اینجا از نســبت ســرعت بهینه_ٔک_امه جهت بدســت آوردن ماکزیمم ضریب توان،_{P,max} استفاده میشود.

ساختار PMSG متشکل از توربین باد، ژنراتور سانکرون مغناطیس دائم، یکسوساز دیودی و نیز مبدل بوست است که جهت پایداری ولتاژ لینک DC و کنترل MPPT توربین جهت اتصال به لینک DC استفاده شده است. مبدل سمت ژنراتور یک مبدل یک سو ساز دیودی بوده که نقش یکسوکنندگی را ایفا مینماید. الگوریتم MPPT از طریق کنترل مبدل بوست در لینک DC با استفاده از کنترل کننده IP و یا فازی نوع I و II جریان مبدل بوست و سرعت ژنراتور را کنترل میکند. باتوجه به ساختار توربین مورد استفاده، جهت استخراج ماکزیمم توان از کنترل کننده مبدل بوست استفاده میشود.



که در این مقاله جهت کنترل ســر عت مرجع و جریان ســلف از کنترلکننده منطق فازی نوعIIپیشنهاد می شود که با کنترلکنندههای PI و کنترلر فازی نوع I مورد مقایسه قرار می گیرند

۲-۴- مدلسازی سیستم کنترل PMSG

یکی از مهم ترین وظایف هر سیستم ژنراتور بادی، تنظیم دقیق مولفههای dq جریان استاتور PMSG است. در اینجا از دو کنترل کننده مجزا جهت کنترل جریانهای ایه او انه استفاده می نماید. جهت سادگی می توان از دو کنترلر تناسبی-انتگرالی با پارامترهای تناسبی و انتگرالی مشابه استفاده کرد. از کنترلرهای جریان جهت تولید مراجع ولتاژ Nsq.ref استفاده می شود که تحت تبدیل پارک معکوس قرار می گیرند تا ولتاژهای مرجع (uwe1,uwe1,uwe1) وارد بلوک مدولاسیون پهنای پالس شده و سیگنالهای سوئیچینگ بدست آید.

با توجه به سادگی و مقاوم بودن کنترلکننده IP،جریانهای منتجه نوسانی بوده و تاثیرگذاری بر روی شبکه را نیز دارد. در این قسمت کنترلر فازی مدلسازی می شود که جریان دقیقتری را فراهم کنند. نکته ممکن است.جهت تنظیم جریانهای انو Isq تامینکننده شبکه، کنترلرهای IP بخش قبلی با کنترلکنندههای فازی نوع I و نوع II با استنتاج ممدانی جایگزین می شوند که در شکل ۴ ارئه شده است.

$$\xrightarrow{w} \underbrace{e}_{f(e,\Delta e)} \xrightarrow{f(e,\Delta e)} \underbrace{f(e,\Delta e)} \xrightarrow{u} \underbrace{\Sigma}_{f(e,\Delta e)} \xrightarrow{y} \xrightarrow{y}$$

شکل (۴): بلوک کنترل کننده فازی مورد مطالعه

ورودیهای مورد نیاز کنترلر منطق فازی، خطاهای جریان و تغییرات آنها شامل ΔeqpΔed میباشند. خروجیهای این کنترلر تغییرات ولتاژهای کنترلی Δ*vsdکوqvd*میباشند. قواعد فازی مورد استفاده جهت مرحله استنتاج بگونهای انتخاب می گردند که مجموعه فازی ورودی کنترل Jul به ازای هر جفت (Δedوb) تشکیل دهند. در کنترل کنندههای مطرح شده، در مرحله استنتاج از روش max-min و از روش مرکز ثقل برای فرآیند غیرفازیسازی استفاده می شود.

کنترل کنندههای منطق فازی نوع II که به آنها کنترلرهای فازی-فازی نیز اطلاق می گردد، بسیار مشابه با فازی نوع I بوده با این تفاوت که در آن توابع عضویت دارای محدوده نیز می باشند که بعبارتی در این نوع از فازی، عدم قطعیت ورودیها نیز دخالت داده شده است. ورودی کنترل-کننده، خطای بین مقدار مرجع جریان محور pd/مرجع سرعت روتور و مقدار اندازه گیری شده جریان محورهای pd/سرعت روتور محاسبه می-شود. ساختار اصلی سیستم کنترل منطق فازی نوع II شامل چهار مؤلفه اصلی می باشد: بخش فازی سازی، پایگاه قواعد، موتور استناج و بخش

غیرفازی کننده. مراحل ذیل کنترلر را توصیف می نماید [26,25]: مرحله فازی کردن: بخش فازی کننده مقادیر ورودی عددی را با استفاده از توابع عضویت نرمالیزه شده و بهرههای ورودی به متغیرهای فازی تبدیل می نماید. فرآیند فازی کردن با استفاده از مجموعههای فازی

تعریف شده صورت می گیرد که در آن بترتیب بصورت -E، 0، +E برای سیگنال خطا و -DE، 0، DE برای سیگنال تغییرات خطا(مشتق خطا) نشان داده شده است و مقادیر در نظر گرفته شده برای خروجی نیز +، 0، - میباشند. شکل ۵ توابع عضویت ورودی های کنترل کننده منطق فازی نوع II را نشان میدهد.



مرحله استنتاج: موتور استنتاج منطق فازی باتوجه به پایگاه قواعد موجود، اقدام کنترلی مناسب رااستخراج میکند. این مرحله براساس جدول قواعد زیر بدست میآید.

جدول (۱): قواعد فازی برای کنترل کننده منطق فازی

e Ae	E-	E0	E+
DE-	-	-	0
DE0	-	0	+
DE+	0	+	+

مرحله غیرفازی کردن: اقدام کنترلی فازی صورت گرفته توسط بخش غیرفازی کننده و با استفاده از توابع عضویت نرمالیزه شده و بهرههای خروجی به مقادیر مناسب تیدیل می شود. در این مرحله مقدار خروجی باید دوباره به یک مقدار فازی متناسب با عدد تبدیل گردد. خروجیها دارای مقادیر ۱ crisp ، و - ۱ بترتیب برای توابع +، 0 و – می باشد. متغیرهای ورودی نرمالیزه شده کنترل کننده فازی، خطای جریان و تغییرات آن می با شند که تو سط جدول ۱ به منطق فازی نوع II تبدیل می شوند. سیگنالهای ورودی توسط بخش فازی کننده با استفاده از سه تابع عضویت مثلثی بترتیب بصورت -E، 0، +E برای سیگنال خطا و -do 0، DE برای سیگنال تغییرات خطا(مشتق خطا) به اعداد فازی تبدیل می شوند.

۳- مدلسازی سیستم ذخیرهساز انرژی چرخ طیار

مطابق با شکل ۶، سیستم FESS از یک چرخ طیار، یک ماشین القایی و یک مبدل پشت به پشت تشکیل شده است که گشتاور وارده به چرخ طیار و توان مبادله شده را کنترل میکند. استفاده از FESS دو هدف اصلی یعنی تنظیم ولتاژ باس DC و تنظیم شارش توان به سمت ژنراتور و سیستم اصلی را دنبال میکند.



شکل (۶): بلوک دیاگرام استراتژی کنترلی سیستم FESS-IM

سیستم کنترلی ارائه شده در این شکل وابستگی شدیدی به اندازه گیری سرعت چرخشی چرخ طیار و همچنین مرجع توان IM که توسط کنترل کننده تخمین زده می شود، دارد. توان مرجع جهت تخمین مقدار مرجع مؤلفه p جریان مورد استفاده قرار می گیرد در حالیکه از سرعت به منظور تخمین شار روتور IM و با توسعه مقدار مرجع جریان مؤلفه d استفاده می شود. در زیر به توضیحات کلی در مورد سیستم کنترل آن پرداخته می شود:

۱–۳- مدلسازی سیستم ذخیرهساز چرخ طیار

جهت مدل سازی چرخ طیار و شفت مکانیکی به اینصورت عمل می شود که به ازای یک اینرسی مشخص، انرژی ذخیره شده در چرخ طیار متناسب با مربع سرعت چرخشی می باشد که رابطه آن بصورت زیر $E_f = \frac{I}{2} J_f \Omega_f^2$ (۱۲)

است[27]:

که در آن J_f ، ممان اینرسی برحسب $R_g.m^2$ و Ω_f سرعت چرخ طیار برحسبrad/sمیبا شد. مقدار انرژی مورد نیاز جهت ذخیره سازی توان نامی IM که بصورت P_{n-IM} نشان داده می شود، مثلاً بین دو قله موج به $E_f = P_{n-IM} \Delta t$ (۱۳)

منظور کاهش نوسان ژنراتور در بازها∆بصورت زیر ارائه میشود: با ترکیب روابط (۱۲) و (۱۳)، اینرسی مورد نیاز چرخ طیار بصورت زیر

$$J_f = \frac{2P_{n-IM}\Delta t}{\Omega_{f,max}^2 - \Omega_{f,min}^2} \tag{14}$$

قابل ارائه است:

در این رابطه ، $\Omega_{\rm f,max}$ و $\Omega_{\rm f,max}$ بترتیب بیانگر ماکزیمم و مینیمم سرعت چرخ طیار است. به دلیل اینکه شفت مکانیکی چرخش را منتقل می-

$$J_f = \frac{d\Omega_f}{dt} = T'_{em} - f'\Omega_f \tag{10}$$

نماید، از مدل ساده زیر میتوان جهت مدلسازی استفاده کرد: جریانها و شار موتور القایی قفس سنجابی کلاسیک را میتوان توسط مدل پارک بصورت زیر ارائه داد:

$$\frac{di'_{sd}}{dt} = -\frac{R_{sr}}{\sigma L'_s}i'_{sd} + \omega_s i'_{sq} + \frac{M}{\sigma L'_s L_r T_r}\phi_{rd} + \frac{Mp'}{\sigma L'_s L_r}\phi_{rq} + \frac{1}{\sigma L'_s}v'_{sd}$$
(15)

$$\frac{di'_{sq}}{dt} = -\frac{R_{sr}}{\sigma L'_s}i'_{sq} - \omega_s i'_{sd} + \frac{M}{\sigma L'_s L_r T_r}\phi_{rq} + \frac{Mp'}{\sigma L'_s L_r}\phi_{rd} + \frac{1}{\sigma L'_s}v'_{sq}$$
(1Y)

$$\frac{d\phi_{rd}}{dt} = \frac{M}{T_r} i'_{sd} - \frac{1}{T_r} \phi_{rd} + (\omega_s - p' \Omega_f) \phi_{rq} \tag{1A}$$

$$\frac{d\phi_{rq}}{dt} = \frac{M}{T_r} i'_{sq} - \frac{1}{T_r} \phi_{rq} - (\omega_s - p'\Omega_f) \phi_{rd} \tag{19}$$

M. اندوکتانسهای استاتور و روتور برحسبHمیباشند. بیانگر اندوکتانس مشترک بین استاتور و روتور برحسبHمیباشد. σ بیانگر ضریب پراکندگی ماشین است.R' وRبترتیب مقاومتهای استاتور و روتور هستند. برحسبdwهستند.i' و p' i' بترتیب مولفههای b و p شار روتور برحسب آمپرمیباشند.i' و p' i' بترتیب مولفههای b و p ولتاژ استاتور برحسب ولت میباشند.i' و p' i' بترتیب مولفههای b و p ولتاژ استاتور برحسب ولت میباشند.i' تعداد جفت قطبهای سیستم است. ∞ ضربان استاتور برحسبsناطیسی تولیدی توسط چرخ طیار را میتوان بصورت زیر ارائه داد:

$$T'_{em} = p' \frac{M}{L_r} \left(i'_{sq} \phi_{rd} - i'_{sd} \phi_{rq} \right) \tag{(7.)}$$

۲-۳- مدلسازی سیستم کنترل ذخیرهساز چرخ طیار

در اینجا سیستم کنترل چرخ طیار متصل به توربین باد سرعت ارائه میشود. ولتاژ لینک DC بصورت زیر قابل ارائه است:

$$\frac{du_{dc}}{dt} = \frac{1}{C} \left(i_1 + i_2 + i_3 \right) \tag{(1)}$$

استراتژی کنترلی لینک DC در شکل ۲ ارائه شده است. مرجع توان P_{wg} اکتیو شبکه با VSWG و توان اکتیو بهینه تولیدی توسط VSWG با g_{wg} نشان داده می شود.



$$P_{f,ref} = P_{r,ref} - P_{wg} + \Delta P \tag{(YY)}$$

درصورتیکه0<*P_{f,ref}،* توان تولیدی بیشتر از تقاضا بوده و بایستی انرژی اضافی در FESS ذخیرهسازی شود و درصورتیکه0> *P_{f,ref} ب*اشد توان تولیدی کمتر از تقاضا بوده و مقدار کمبود انرژی را بایستی توسط FESS

جبران کرد. در قاب مرجع شار جهتدار، از اندازه گیری جریانهای استاتور و سرعت روتور جهت تخمین موقعیت بردار فضایی شار روتور استفاده می شود. همچنین، از مدل مناسب دینامیکی اشباع کامل ماشین برای مدل سازی IM استفاده شده است تا امکان بهرهبرداری در ناحیه تضعیف شار با سرعتهای زیر و بالای مقدار مبنا فراهم باشد.

۴- نتایج و تحلیل شبیهسازی

در اینجا شبیه سازی سیستم تحت مطالعه مورد تحلیل قرار می گیرد. این سیستم شامل یک توربین بادی ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم است که توسط خط انتقال به شبکه و باس بینهایت با ولتاژ ۱۲۰kV وصل شده است که سیستم شبیه سازی در نرمافزار MATLAB در شکل ۸ نشان داده شده است. همچنین، زیر سیستم های مربوط به کنترل سرعت و زاویه گام مبتنی بر کنترل کننده منطق فازی نوع II در این شکل قابل مشاهده هستند.



Speed Regulator & Pitch Control







شکل (۸): سیستم شبیهسازی شده در نرمافزار MATLAB این سیستم یک مزرعه بادی ۱۰۰kW PMSG(۵×۲۰) متشکل از ۵ توربین ۳۵kW است که با ضریب توان ۹٫۹ و به توان کل ۱۰۰kW ولتاژ ۵۷۵۷ را تولید میکند و توسط ترانسفورماتور ۱۲٫۵MVA این ولتاژ به

ولتاژ ۲۵kV تبدیل می شود و سپس توسط خط انتقال ۳۰ کیلومتری با مدل متوسط(مدل π) به شبکه ۲۵kV متصل شده است که این شبکه توسط ترانسفورماتوری دیگر ولتاژ ۲۵kV را به ولتاژ ۱۲۰kV تبدیل نموده وسپس توسط یک خط با مدل خط بلند به شبکه و باس بینهایت ۱۲۰kV متصل می شود. در این بین یک ترانسفورماتور زمین با توان ۱۰۰MVA به باس ۲۵kV متصل بوده و اتصال نوترال و نقطه صفر شبکه را تقویت میکند. در این شبکه در لحظه ۲٬۰۳۶ افت ولتاژی به اندازه ۰٫۳pu. در اثر خطا در شبکه رخ می دهد که مدت ۰٫۱s بطول میانجامد. این افت ولتاژ موجب ایجاد خطای جریان در سیم پیچ ژنراتور و در نتيجه افزايش ولتاژ لينک DC بدليل تزريق جريان بالا مي شود كه هدف از این مقاله، کنترل ولتاژ لینک DC ژنراتور به منظور تزریق توان پايدار به شبكه و تغذيه آن مي باشد. FESS مبتنى بر ماشين القايي قفس سنجابی کوپل شده به چرخ طیار میباشد. یک مبدل متصل به شبکه امکان تبادل توان اکتیو و راکتیو با شبکه را فراهم میسازد. سیستم کنترلی باید بگونهای عمل نماید تا توان اکتیو و راکتیو بخوبی کنترل شده و ژنراتور در ضریب توان واحد بهرهبرداری گردد. شبیهسازی برای کنترل کنندههای تحت مطالعه در شرایط وزش باد متغیر انجام شده و نتایج آن ارائه می گردد. پارامترهای سیستم قدرت تحت مطالعه در جدول ۲ ارائه گردید. توربین بادی PMSG در شرایط نرمال با سرعت بادs/١١m ولتاژ ٥٧۵٧ را توليد مي كند كه اين ولتاژ توسط ترانسفورماتور محلى به ولتاژ ۲۵kV تبديل مي گردد. پس از آن توان تولیدی PMSG به ترانسفورماتوری با نسبت تبدیل ۱۲۰kV/۲۵kV، منتقل شده و در آنجا به ولتاژ ۱۲۰kV تبدیل می شود که این ترانسفورماتور توان را توسط فیدر ۲۵kV و ۳۰km به شبکه ۱۲۰kV منتقل مىنمايد. همچنين ولتاژ و فركانس نامى باس بىنهايت شبكه بترتیب دارای مقادیر ۶۰Hz و ۱۲۰kV می باشد.

جدول (۲): پارامترهای مورد استفاده در شبیهسازی

نماد	كميت	مقدار	
	شبكه بالادستى		
V_{p-p}	ولتاژ خط(فاز به فاز، RMS)	۱۲۰kv	
ωs	فركانس زاويهاي شبكه	π۲×۶・Hz	
S_{base}	توان مبنا	۲۵۰۰MVA	
	یستم ذخیرہسازی انرژی چرخ طیار		
Psc	توان نامي ماشين القايي	99 · KVA	
Vsc	ولتاژ نامى	۶٩٠V	
fsc	فركانس نامي	۵·Hz	
J	مجموع ممان اينرسي ماشين	$\Delta \cdot \cdot kg.m^2$	
Р	تعداد جفت قطبها	٢	
	پهنای باند کنترلر	۵, ۰	
$ au_s$	زمان نمونەبردارى	1µs	
f_s	ماکزیمم فرکانس سوئیچینگ	$ au \cdots Hz$	
توربين بادي ژنراتور سنكرون مغناطيس دائم			
نوع و مدل	111 N.m 560Vdc 3000 RPM-126 N.m		
J	ممان اينرسي ژنراتور	۰,۰۱۱ kg.m ²	

PPMSG	توان نامی ژنراتور و توربین	۱۰۰kW
V_{p-p}	ولتاژ نامی ژنراتور	۵۷۵V
f_s	فركانس نامي ژنراتور	۶۰Hz
R_s	مقاومت استاتور	$\Omega\cdot$, \cdot ۵
L_A	اندوكتانس آرميچر	•,•••۶۳۵Н
F_r	شار پيوندى	۰,۱۹۲V.s
Р	تعداد جفت قطبها	۴
C_{DC}	ظرفیت خازن لینک DC	٩٠mF
V_{DC}	ولتاژ لينک DC نامي	١١٠٠V
H_s	ثابت اينرسي توربين	۴,۳۲s

در ادامه جهت بررسی دقیق تاثیر روش پیشنهادی در کنترل ولتاژ سیستم مورد مطالعه مقایسه بین کنترل کنندهها درنظر گرفته میشود که در زیر ارائه میشوند:

۱-۴- ارزیابی عملکرد سیستم قدرت با حضور کنترل-کننده PI

در این قسمت، سیستم قدرت تحت مطالعه در شرایط وزش باد نوسانی قرار می گیرد. سرعت باد نیز طبق الگوی شکل ۹ تغییر می کند. پاسخ ولتاژ لینک DC سیستم ذخیرهساز چرخ طیار در شکل ۱۰ ارائه شده است.



هدف استفاده از سیستم ذخیرهساز انرژی چرخ طیار، تنظیم توان تزریقی ژنراتور به شبکه با پایداری ولتاژ لینکDC در تمامی شرایط می باشد که طبق شکل مشخص است FESS باوجود خطا و افت ولتاژ در شبکه توانسته است ولتاژ باس DC را روی 1100 ولت تنظیم کند بجز در لحظات شروع و پایان خطا که مقدار بدلیل وقوع ناگهانی گذرایی ایجاد می گردد و پیک و افتی را ایجاد مینماید هرچند این پیک و افت ولتاژ در محدوده مجاز است و کمتر از 10 ولت است. می توان مشاهده نمود که ولتاژ باس DC باوجود تغییرات و اغتشاشات تقریبا ثابت مانده است.

۲-۴- ارزیابی عملکرد سیستم قدرت با حضور کنترل کننده منطق فازی نوعI

در این قسمت، کنترل کننده منطق فازی نوعI جایگزین کنترل کننده PI می شود. پاسخ ولتاژ لینک DC سیستم ذخیره ساز چرخ طیار در شکل (۱۱) ارائه شده است.



شکل (۱۱): ولتاژ لینک DC ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم مطابق شکل مشخص است سیستم ذخیرهساز چرخ طیار باوجود خطا و افت ولتاژ در شبکه توانسته است ولتاژ باس DC را روی 1100 ولت حفظ کند بجز در لحظات شروع و پایان خطا که مقدار بدلیل وقوع ناگهانی گذرایی ایجاد می گردد و پیک و افتی را ایجاد می کند هرچند این پیک و افت ولتاژ در محدوده مجاز است و کمتر از ۵۷ می باشد. می توان مشاهده نمود که ولتاژ باس DC باوجود تغییرات و اغتشاشات تقریبا ثابت مانده است. البته علاوه بر سنکرون شدن و پایدار شدن زودتر سیستم با استفاده از کنترل کننده منطق فازی نوع-۱، با استفاده از این خطا خواهد دید، با استفاده از کنترلر فازی نوع-۱ سیستم بهتر عمل نموده و توانسته بهتر انرژی اضافی را توسط ESS مصرف نماید و از افزایش ولتاژ لینک DC و آسیب به تجهیزات جلوگیری کند.

۳-۴- ارزیابی عملکرد سیستم قدرت با حضور کنترل کننده منطق فازی نوع II

در این قسمت، کنترلکننده منطق فازی نوعII جایگزین کنترلکننده PI میشود. پاسخ ولتاژ لینک DC سیستم ذخیرهساز چرخ طیار در شکل (۱۲) ارائه شده است.



از این شکل قایل استنباط است که سیستم ذخیرهساز چرخ طیار باوجود خطا و افت ولتاژ در شبکه توانسته است ولتاژ باس DC را روی1100 ولت حفظ مند. تنها در لحظات شروع و پایان خطا که مقدار بدلیل وقوع ناگهانی گذرایی ایجاد می گردد و پیک و افتی را ایجاد مینماید هرچند این پیک و افت ولتاژ در محدوده مجاز است و کمتر از ۲۷ می باشد. می

توان مشاهده نمود که ولتاژ باس DC باوجود تغییرات و اغتشاشات تقریبا ثابت مانده است. کنترلکننده منطق فازی نوع-۲ توانسته بهتر انرژی اضافی را توسط سیستم ذخیرهساز چرخ طیار مصرف نماید و از افزایش ولتاژ لینک DC و آسیب به تجهیزات جلوگیری کند.

۵- نتیجهگیری

در این مقاله یک سیستم قدرت شامل ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم که لینکDC آن به یک سیستم ذخیرهساز چرخ طیار کوپل با ماشین القایی قفس سنجابی است مورد بررسی و مطالعه قرار می گیرد. هدف بکارگیری از FESS کاهش نوسانات ظاهر شده در توان تزریقی به شبکه و تنظیم شارش توان است که از طریق ارسال/دریافت توان از FESS به هنگام بیشبود/کمبود توان شبکه صورت می پذرد. بدین منظور جهت کنترل مولفههای pd در سیستم کنترلی جریان استاتور PMSG از کنترل کننده منطق فازی نوع II بهره برده شده است. هدف استفاده از کنترل کننده منطق فازی نوع II بهبود عملکرد PMSG و کنترل ولتاژ لینک DC است که متعاقباً با دو کنترل کننده IP و منطق فازی نوع I مورد مقایسه قرار می گیرد. در نهایت، نتایج شبیهسازی نشان داده است که کنترل کننده منطق فازی نوع II دقت بالایی در کاهش نوسانات ولتاژ لینک DC را دارد.

مراجع

[1] L. Tian, Q. Ye, Z. Zhen, "A new assessment model of social cost of carbon and its situation analysis in China", Journal of Cleaner Production, Vol. 211, 2019, pp. 1434-1443.

[Y]L. Pereira, I. D. Posen, "Lifecycle greenhouse gas emissions from electricity in the province of Ontario at different temporal resolutions", Journal of Cleaner Production, Vol. 270, 2020, 122514.

[٣]A. D. Falehi, "Half-cascaded multilevel inverter coupled to photovoltaic power source for AC-voltage synthesizer of dynamic voltage restorer to enhance voltage quality", International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, Vol. ٣۴, No. Δ, pp. e2883.

[¥]D. Maradin, L. Cerović, A. Šegota, "The efficiency of wind power companies in electricity generation", Energy Strategy Reviews, Vol. 37, 2021, 100708.

 $[\Delta]$ T. R. S.de Freitas, P. J. M. Menegáz, D. S. L. Simonetti, "Rectifier topologies for permanent magnet synchronous generator on wind energy conversion systems: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 54, 2016, pp. 1334-1344.

[۶]A. D. Falehi, "An innovative optimal RPO-FOSMC based on multi-objective grasshopper optimization algorithm for DFIGbased wind turbine to augment MPPT and FRT capabilities", Chaos, Solitons & Fractals, Vol. 130, 2020, pp. 109407.

[Y] A. D. Falehi, "An optimal second-order sliding mode based inter-area oscillation suppressor using chaotic whale optimization algorithm for doubly fed induction generator", generation costs using a Multi-Contingency TSCOPF with nonlinear loads", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 104, 2019, pp. 69-77

[71]S. Karrari, G. De Carne, M. Noe, "Model validation of a high-speed flywheel energy storage system using power hardware-in-the-loop testing", Journal of Energy Storage, Vol. 43, 2021, pp. 103177

[YY]W. Chen, T. Zheng, D. Yang, X. Zhang, "Control of wide-

speed-range operation for a permanent magnet synchronous generator-based wind turbine generator at high wind speeds", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 136, 2022, pp. 107650

[YY]A. Fathy, A. G.Alharbi, S. Alshammari, H. M.Hasanien, "Archimedes optimization algorithm based maximum power point tracker for wind energy generation system", Ain Shams Engineering Journal, Vol. 13, No. 2, 2022, pp. 101548

[YF]E. M. Youness, D. Aziz, E. G. Abdelaziz, B. Jamal, E. O. Najib, Z. Othmane, M. Khalid, B. BOSSOUFI, "Implementation and validation of backstepping control for PMSG wind turbine using dSPACE controller board", Energy Reports, Vol. 5, 2019, pp. 807-821

[τΔ]A. D. Falehi, "Robust and intelligent type-2 fuzzy fractional-order controller-based automatic generation control to enhance the damping performance of multi-machine power systems" IETE Journal of Research, Vol. ۶λ, No. ۴, pp. 2548-2559.

[79]. K. Shukla, P. K. Muhuri, "Big-data clustering with interval type-2 fuzzy uncertainty modeling in gene expression datasets", Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 77, 2019, pp. 268-282.

[YY] A. Rupp, H. Baier, P. Mertiny, M. Secanell, "Analysis of a flywheel energy storage system for light rail transit", Energy, Vol. 107, 2016, pp. 625-638. International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, Vol. ۳Δ, No. ۲, pp. e2963.

[A]N. Güler, E. IIrmak, H. Gör, E. Kurt, "An inverter design for a new permanent magnet synchronous generator", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 42, No. 28, 2017, pp. 17723-17732.

[9]H. H. Mousa, A. R. Youssef, E. E. M. Mohamed, "Optimal power extraction control schemes for five-phase PMSG based wind generation systems", Engineering Science and Technology, an International Journal, Vol. 23, No. 1, 2020, pp. 144-155.

[1.]. Wang, D. Bo, X. Ma, Y. Zhang, Z. Li, Q. Miao, "Adaptive back-stepping control for a permanent magnet synchronous generator wind energy conversion system", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 44, No. 5, 2019, pp. 3240-3249.

[11]. Hosseini, E. Aghadavoodi, L. M. F. Ramírez, "Improving response of wind turbines by pitch angle controller based on gain-scheduled recurrent ANFIS type 2 with passive reinforcement learning", Renewable Energy, Vol. 157, 2020, pp. 897-910.

[11]. Lihua, L. Min, M, Li, A. Baziar, Z. M.Ali, "Hybrid RNN-LSTM deep learning model applied to a fuzzy based wind turbine data uncertainty quantization method", Ad Hoc Networks, Vol. 123, 2021, pp. 102658

[\\verts]F. Tooryan, H. HassanzadehFard, E. R. Collins, S. Jin, B. Ramezani, "Smart integration of renewable energy resources, electrical, and thermal energy storage in microgrid applications", Energy, Vol. 212, 2020, pp. 118716.

[\f]H. Matayoshi, A. M. Howlader, M. Datta, T. Senjyu, "Control strategy of PMSG based wind energy conversion system under strong wind conditions", Energy for Sustainable Development, Vol. 45, 2018, pp. 211-218.

[\Δ]R. Kumar, H. P. Agrawal, A. Shah, H. O. Bansal, "Maximum power point tracking in wind energy conversion system using radial basis function based neural network control strategy", Sustainable Energy Technologies and Assessments, Vol. 36, 2019, pp. 100533.

[\9]M. M. Bajestan, H. Madadi, M. A. Shamsinejad, "Control of a new stand-alone wind turbine-based variable speed permanent magnet synchronous generator using quasi-Z-source inverter", Electric Power Systems Research, Vol. 177, 2019, pp. 106010.

[Y]D. R. Lopez-Flores, J. L. Duran-Gomez, M. I. Chacon-Murguia, "A Mechanical Sensorless MPPT Algorithm for a Wind Energy Conversion System based on a Modular Multilayer Perceptron and a Processor-in-the-Loop Approach", Electric Power Systems Research, Vol. 186, 2020, pp. 106409.

 $[\lambda\lambda]$ J. I. Sarasúa, G. Martínez-Lucas, M. Lafoz, "Analysis of alternative frequency control schemes for increasing renewable energy penetration in El Hierro Island power system", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 113, 2019, pp. 807-823.

[19]B. Thormann, P. Puchbauer, T. Kienberger, "Analyzing the suitability of flywheel energy storage systems for supplying high-power charging e-mobility use cases", Journal of Energy Storage, Vol. 39, 2021, pp. 102615.

[7.]. Arredondo, P. Ledesma, E. D. Castronuovo, "Optimization of the operation of a flywheel to support stability and reduce

Designing an energy storage system based on type II fuzzy logic controller to reduce dc-link voltage fluctuations of permanent magnet synchronous generator wind turbine

Ali Darvish Falehi

Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Shadegan Branch, Islamic Azad University, Shadegan, Iran

a_darvishfalehi@sbu.ac.ir

Abstract: This paper aims to reduce dc-link voltage fluctuations in variable speed wind energy conversion system based on permanent magnet synchronous generator (PMSG). A flywheel energy storage system (FESS) which is connected to a squirrel cage induction machine is used for dc-link of PMSG. FESS has been applied to reduce the fluctuations of the injected power into the network and to regulate the power flow, which has been carried out by sending/receiving power from FESS when there is an excess/deficiency of the network power. Type-II fuzzy logic controller is proposed to improve the PMSG performance and dc-link voltage control, that its performance has been compared with PI controller and type-I fuzzy logic controller. The grid connected converter is used to separately control the active and reactive power for achivement of unity power factor. The dynamic model of the proposed system has been simulated using MATLAB-Simulink software and the obtained results prove the effective performance of the proposed controller.

Keywords: Energy conversion system, wind turbine permanent magnet synchronous generator, flywheel energy storage system, type II fuzzy logic controller.