

طراحی کنترل کننده مد لغزشی در سیستم های تبدیل انرژی باد PMSG با مبدل ماتریسی

عباس جهانشاهی، محمد رضا بسمی

۱- مدیریت تولید برق قم

۲- دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد

Abbas_jahanshahi@yahoo.com, besmi@shahed.ac.ir

چکیده

در این مقاله به طراحی کنترل کننده مد لغزشی در توربین های بادی PMSG پرداخته می شود. ابتدا یک ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم شبیه سازی شده و سپس این ژنراتور توسط یک مبدل ماتریسی^۱ سوئیچ به شبکه سه فاز متصل می گردد. در مرحله بعد برای ایجاد تعقیب حداکثر توان در این توربین از یک لینک dc در شبیه سازی استفاده می شود تا بتوان به روش بدون سنسور حداکثر توان بهینه قابل برداشت از لینک dc را تخمین زد.

کلمات کلیدی: توربین بادی، ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم PMSG، مبدل ماتریسی، کنترل کننده مد لغزشی

۱. مقدمه

کلیه تولید انرژی الکتریکی به وسیله باد توسط مدل های مختلفی از توربین های بادی با ژنراتورهای متفاوت انجام می پذیرد که از جمله آن توربین بادی با ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم (PMSG) می باشد که به دلیل قابلیت ها و مزایای آن از قبیل حجم و وزن کم، بازدهی بالا و حذف جعبه دنده، استفاده از این نوع ژنراتور در توربین های بادی گسترش یافته است [۱]. ساختارهای مختلفی برای تبدیل توان در توربین بادی PMSG وجود دارد که در این مقاله از مبدل ماتریسی برای تبدیل انرژی باد استفاده شده است. مبدل های ماتریسی^۱ مستقیماً توان AC خروجی ژنراتور را به توان AC با کیفیت مناسب تبدیل می کنند و دارای سیستم کنترلی مخصوص به خود می باشند. جهت اخذ حداکثر توان از توربین بادی از یک لینک DC در شبیه سازی استفاده شده است. توربین بادی PMSG دارای استراتژی کنترل گسترده و متنوع از جمله کنترل منطق فازی^۲، کنترل مد لغزشی^۳، نقطه عملکرد بهینه^۴، کنترلر PID و... می باشد [۴]، [۷]. برای شبیه سازی از روش کنترل مدل لغزشی استفاده شده است و در ادامه تاثیر سرعت باد بر عملکرد ژنراتور PMSG و مبدل بررسی خواهد شد و روشی جهت بهبود کنترل سوئیچ های مبدل ماتریسی ارائه می گردد.

۲. ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم PMSG

در این ژنراتورها، شار مغناطیسی روتور توسط مغناطیس های دائم تولید می شوند. خود تحریکی به این ژنراتورها قابلیت عملکرد در ضریب توان و بازدهی بالا را می دهد.

^۱ Matrix Converters

^۲ Fuzzy Logic control

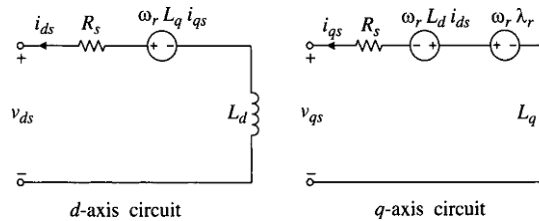
^۳ Sliding-Mode Control

^۴ Optimal Operating Point

به طور کلی PMSG دارای مزایای زیر است:

- بازده، قابلیت اطمینان، ضریب توان و عملکرد بالا
 - حجم و وزن کم
 - عدم نیاز به تحریک میدان
 - مشخصه گرمایی بهتر
 - بهبود پایداری دینامیکی
- تعدادی از معایب آن نیز به صورت زیر می باشد:
- افزایش سایز، وزن و هزینهی ژنراتور PMSG دارای قطب های زیاد
 - هزینهی بالای مواد PM
 - دیمغناطیس شدن PM ها در دمای بالا [۱].

مدل دینامیکی ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم (PMSG) در قاب مرجع سنکرون dq با میدان روتور، طبق شکل (۱) می باشد.



شکل ۱: مدل دینامیکی PMSG در قاب مرجع سنکرون dq

در شکل (۱)، R_s مقاومت فاز استاتور، L_{d-q} اندوکتانس محورهای $d-q$ ، ω_r سرعت الکتریکی روتور، p عملگر مشتق و λ_r دامنه‌ی شار پیوندی دیده شده از سیم پیچ های استاتور ناشی از وجود مغناطیس های دائم است.

معادلات ولتاژ PMSG به صورت زیر است [۲]:

$$\begin{cases} v_{ds} = -R_s i_{ds} + \omega_r L_q i_{qs} - L_d p i_{ds} \\ v_{qs} = -R_s i_{qs} - \omega_r L_d i_{ds} + \omega_r \lambda_r - L_q p i_{qs} \end{cases} \quad (1)$$

گشتاور الکترومغناطیسی نیز با رابطه‌ی (۲) قابل محاسبه می باشد:

$$T_e = \frac{3}{2} P [\lambda_r i_{qs} - (L_d - L_q) i_{ds} i_{qs}] \quad (2)$$

که P تعداد جفت قطب های ژنراتور می باشد.

۳. مدل توربین بادی و کنترل حداکثر توان

توان ذخیره شده در باد برابر است با:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A_c V_w^3 \quad (3)$$

که ρ چگالی هوا، A_c سطح جاروب شده توسط پره های توربین، V_w سرعت باد است. این توان بصورت کامل به توان مکانیکی تبدیل نمی شود. حداکثر توان قابل دریافت از باد در بهترین شرایط، طبق تئوری بتز و بسته به شکل پره ها ۵۹ درصد است. توان مکانیکی دریافتی از باد با استفاده از رابطه (۴) بدست می آید.

$$P_{mech} = \frac{1}{2} \rho A C_p V_w^3 \quad (4)$$

که C_p ضریب توان توربین می باشد که بیانگر بازده و کارایی توربین است و به β (زاویهی پیچ توربین) و λ (نسبت سرعت نوک پره ها) وابسته است [۳].

^۱ Pitch Angle

^۲ Tip Speed Ratio

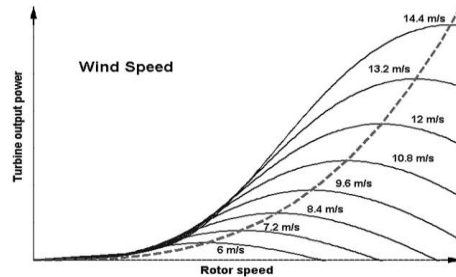
$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left[\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3 \beta - C_4 \right] e^{-\frac{C_5}{\lambda_i}} + C_6 \lambda \quad (5)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (6)$$

ضرایب C_1 تا C_6 در توربین های بادی مختلف، متناسب با ساختار هندسی توربین توسط شرکت سازنده اصلاح و بهینه می شود. این ضرایب برای شبیه سازی به صورت زیر در نظر گرفته شده است.

$$\begin{cases} C_1 = 9 & ; C_2 = 2.1e4 & ; C_3 = 1.1e2 \\ C_4 = 40 & ; C_5 = 2.1e4 & ; C_6 = 2.1e4 \end{cases} \quad (7)$$

توان خروجی توربین بادی به ازای سرعت های مختلف شفت در سرعت های متفاوت باد نمایش می دهد.

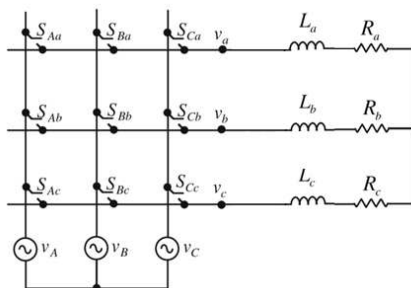


شکل ۲: منحنی توان خروجی توربین بر حسب سرعت رتور در سرعت های مختلف باد

از شکل مذکور مشخص است که حداکثر توان، بسته به میزان سرعت باد، در سرعت های مختلف رتور رخ می دهد.

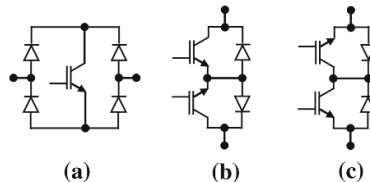
۴. مبدل ماتریسی و انتخاب کلید دو جهته مناسب

مبدل های ماتریسی مستقیماً توان AC خروجی ژنراتور را به توان AC با کیفیت مناسب تبدیل می کنند و فاقد عناصر ذخیره کننده انرژی می باشند.



شکل ۳: مبدل ماتریسی سه فاز به سه فاز

در این مبدل ها معمولاً کلید های دوطرفه با سه آرایش پل دیودی، امیتر مشترک و کلکتور مشترک مورد استفاده می شود. برای شبیه سازی مبدل ماتریسی از ۹ سوئیچ دو طرفه با آرایش امیتر مشترک استفاده شده است.



شکل ۴: برخی از انواع مختلف سوئیچ های دو طرفه: (a) پل دیودی (b) امیتر مشترک (c) کلکتور مشترک

آرایش امیتر مشترک شامل دو IGBT و دو دیود موازی معکوس می باشد. دیودها قابلیت مسدود کردن ولتاژهای معکوس را دارند. در آرایش امیتر مشترک تلفات هدایت نسبت به آرایش پل دیودی کمتر است و هر کلید دو طرفه نیاز به منبع تغذیه جدا شده برای راه اندازی گیت کلیدها خواهد داشت. هر دو IGBT موجود در کلید دوطرفه را می توان نسبت به نقطه

مشترک امیتر راه اندازی کرد [۵].

معادلات ولتاژ ورودی به شرح زیر است:

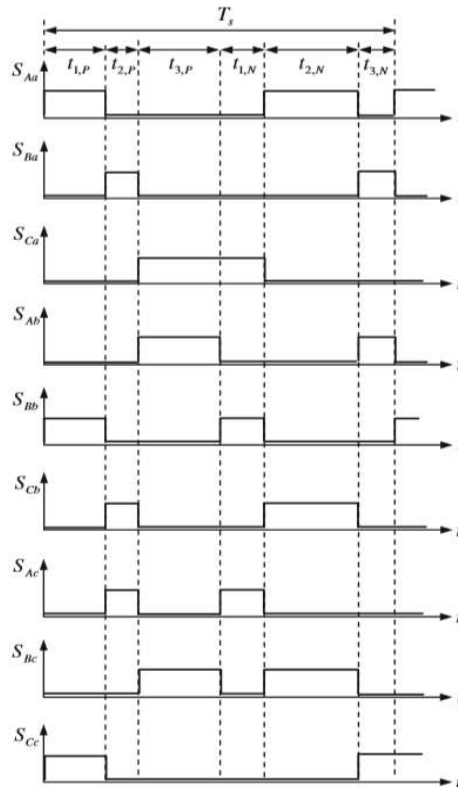
$$[V_i(t)] = \begin{bmatrix} v_A(t) \\ v_B(t) \\ v_C(t) \end{bmatrix} = V_{im} \begin{bmatrix} \cos(\omega_i t) \\ \cos(\omega_i t - 120^\circ) \\ \cos(\omega_i t + 120^\circ) \end{bmatrix} \quad (8)$$

جهت بهبود کنترل سوئیچ های مبدل ماتریسی رابطه ای برای تعیین زمان های کلید زنی بر اساس مرجع [۵] شبیه سازی و پیاده سازی شده است. این رابطه بر اساس ولتاژ و فرکانس ورودی و خروجی (مطلوب) مبدل ماتریسی بنا شده است.

$$P_n = \frac{1}{r} + \frac{r V_{om}}{r V_{im}} \cos \left[(f_i - f_o) \times 2\pi t - (n - 1) \times \frac{2\pi}{r} \right] \quad (9)$$

for $n = 1, 2, 3$

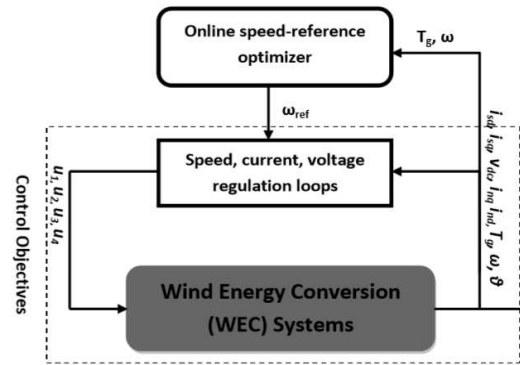
در نرم افزار MATLAB/Simulink زمان های کلید زنی به صورت بلوکی قابل پیاده سازی است. شکل (۵)، استراتژی سوئیچینگ مثبت و منفی را بر اساس رابطه (۱۰) نشان می دهد. به عنوان مثال در لحظه t_{1p} سوئیچ های S_{Aa} و S_{Bb} و S_{Cc} بسته می شوند و قسمتی از شکل موج مثبت را عبور می دهند و T_S زمان تناوب کل می باشد.



شکل ۵: استراتژی سوئیچینگ ترکیبی مبدل ماتریسی

۵. طراحی کنترل کننده غیر خطی فیدبک حالت

هدف از طراحی کنترل کننده اخذ حداکثر توان MPPT از توربین بادی و تنظیم سرعت ژنراتور است به طوری که سرعت ژنراتور ω_r بتواند مقدار مرجع سرعت ω_{ref} را تعقیب نماید و تا حد امکان به آن نزدیک باشد، این کار توسط متغیر کنترلی u_1 انجام می شود.



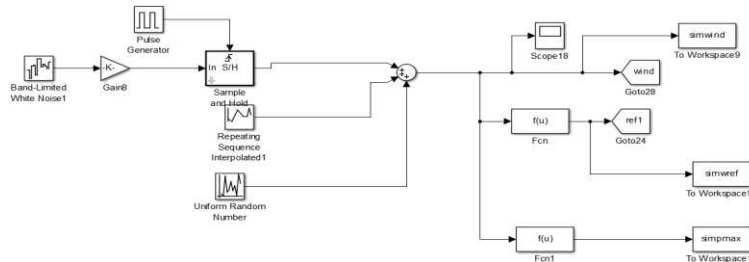
شکل ۶: ساختار سیستم کنترل برای WECS

متغیرهای کنترلی u_1 و u_3 و u_4 به ترتیب جهت کنترل جریان محور d استاتور و کنترل ولتاژ لینک dc و کنترل توان راکتیو تزریقی به شبکه استفاده می شوند.

متغیرهای کنترلی به صورت مجموعه ای از عبارات به صورت زیر قابل بیان است.

$$\begin{cases} u_1 = v_{sq} = \bar{m}_1 v_{dc} & , & u_2 = \bar{m}_2 v_{dc} \\ u_3 = \bar{m}_3 v_{dc} & , & u_4 = \bar{m}_4 v_{dc} \end{cases} \quad (10)$$

در ادامه به کمک سیستم کنترلی، سرعت باد پیش بینی و سرعت ژنراتور تنظیم می شود تا حداکثر توان از توربین بادی گرفته شود. برای ارزیابی سیستم کنترلی پیشنهادی سرعت باد به صورت مجموعه ای از توالی های مختلف سرعت به اضافه مقادیر تصادفی با توزیع یکنواخت و سفید در نظر گرفته می شود.



شکل ۹: ساخت سرعت توربین بادی در MATLAB/SIMULINK

معادلات دینامیکی ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم و طراحی سیستم کنترلی را می توان در قاب مرجع گردان dq به شکل فضای حالت زیر نشان داد:

$$\dot{x}_1 = -(Fx_1 + K_M x_2 - T_g)/J \quad (11)$$

$$\dot{x}_2 = -(R_s x_2 + L_s p x_1 x_2 - k_M x_1 + u_1 v_{dc})/L_s \quad (12)$$

$$\dot{x}_3 = -(R_s x_3 - L_s p x_1 x_3 + u_2 v_{dc})/L_s \quad (13)$$

$$\dot{x}_4 = -(E_{nd} x_4 + E_{nq} x_5 - v_{dc} \bar{i}_R)/C \quad (14)$$

$$\dot{x}_5 = -(E_{nd} - L_o \omega_n x_4 - u_3 v_{dc})/L_o \quad (15)$$

$$\dot{x}_6 = -(E_{nq} + L_o \omega_n x_5 - u_4 v_{dc})/L_o \quad (16)$$

در این روابط R_s و L_s به ترتیب مقاومت و اندوکتانس استاتور هستند. J و F و P به ترتیب اینرسی روتور و ضریب ویسکوزیته و تعداد جفت قطب ها می باشند و ω سرعت زاویه ای روتور و T_g گشتاور بار یا همان گشتاور ژنراتور است. V_{sq} و V_{sd} و i_{sq} و i_{sd} به ترتیب ولتاژها و جریان های محور d و q استاتور می باشند و K_M شار ثابت روتور است که از رابطه (۱۷) بدست می آید. که φ_r شار روتور است.

$$K_M = p \sqrt{\psi/\psi_r} \quad (17)$$

۵-۱- کنترل توربین بادی به روش مد لغزشی (SMC)

هدف از این روش بدست آوردن یک قانون کنترل مناسب است به طوری که تمام متغیرهای سیستم بتوانند مراجعشان را بدون هیچ خطایی دنبال کنند. برای طراحی کنترل کننده مد لغزشی از معادلات حالت حاکم بر ژنراتور مغناطیس دائم استفاده می شود. این کنترل کننده دارای مزایایی از قبیل: پایداری بالا، سرعت و دقت کنترلی بالا، مقاومت بالا در برابر اغتشاشات و نویزها و به تغییر پارامترها غیر حساس و نسبت به سایر روشها به اطلاعات کمی در مورد WECSs^۱ نیاز دارد [۶].

متغیرهای فضای حالت به صورت زیر در نظر گرفته می شود.

$$x = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6]^T = [\bar{\omega}, \bar{i}_{sq}, \bar{i}_{sd}, \bar{v}_{dc}, \bar{i}_{nd}, \bar{i}_{nq}] \quad (18)$$

توان اکتیو و راکتیو تزریقی به شبکه عبارتند از:

$$P_{out} = E_{nd}i_{nd} + E_{nq}i_{nq} \quad (19)$$

$$Q_n = E_{nd}i_{nq} + E_{nq}i_{nd} \quad (20)$$

جهت طراحی کنترل کننده، ابتدا سطوح لغزشی را تعریف می کنیم و سپس تغییرات سطح لغزش را بدست می آوریم.

$$z_1 = x_1 - \omega_{ref} = x_1 - x_1^* \quad (21)$$

$$z_2 = x_2 - i_{dref} \quad (22)$$

$$z_3 = x_3 - x_3^* \quad (23)$$

$$z_4 = Q_n - Q_n^* \quad (24)$$

برای تعیین قوانین کنترلی مناسب از تابع لیاپانوف درجه دو $v = 0.5z^T z$ برای حل معادلات استفاده می کنیم. مشتق

زمانی این تابع $\dot{v} = z^T \dot{z}$ می باشد. با جایگذاری معادلات دینامیکی بخش ۴ در روابط و ساده سازی خواهیم داشت:

$$\Delta_1(x, t) = \frac{k_M}{JL_s} (R_s x_2 + L_s p x_1 x_2 - k_M x_1) + \frac{F}{J} (F x_1 + K_M x_2 - T_g) + \frac{T_g}{J} - \dot{x}_1^* \quad (25)$$

$$\Delta_2(x, e, t) = -\frac{1}{c v_{dc}} (E_{nq} x_4 - u_1 x_2 - u_2 x_3) \quad (26)$$

$$\Delta_3 = k_f e_3 + \dot{\Delta}_2 - \dot{x}_3^* + \frac{E_{nd}}{c L_s} - \frac{E_{nd}}{c} \omega_n x_4 \quad (27)$$

با مشتق گیری از رابطه (۲۵) و (۲۶) و اعمال روش کنترل کننده مد لغزشی عبارات زیر حاصل می شود.

$$\Delta_1' = \frac{k_M}{JL_s} (R_s \dot{x}_2 + L_s p \dot{x}_1 x_2 + L_s p x_1 \dot{x}_2 - k_M \dot{x}_1) + \frac{F}{J} (F \dot{x}_1 + K_M \dot{x}_2 - \dot{T}_g) + \frac{\dot{T}_g}{J} - \dot{x}_1^{*'} \quad (28)$$

$$\Delta_2' = -\frac{1}{c k_M} \{ K_M E_{nq} \dot{x}_4 + J L_s x_2 [(k_1 + k_2) \dot{e}_2 - (1 - k_1) \dot{e}_1 - \Delta_2] \quad (29)$$

$$+ J L_s \dot{x}_2 [(k_1 + k_2) e_2 - (1 - k_1) e_1 - \Delta_1 - k_t \text{sign}(e_2) + k_1 k_t \text{sign}(e_1)]$$

$$- K_M L_s x_2 [k_2 \dot{e}_2 - R_s \dot{e}_2 / L_s + p x_1 x_2 + p x_1 \dot{x}_2]$$

$$- K_M L_s \dot{x}_2 [k_2 \dot{e}_2 - R_s \dot{e}_2 / L_s + p x_1 x_2 + k_t \text{sign}(e_2)]$$

بعد از تخمین سرعت باد، مقدار سرعت و گشتاور مورد نیاز برای چرخش ژنراتور PMSG جهت اخذ حداکثر توان از

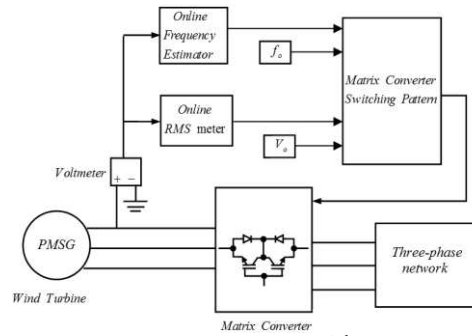
توربین بادی بادی تخمین زده می شود.

۶. سیستم شبیه سازی شده

شکل (۷)، نمای کلی سیستم توربین بادی به همراه مبدل ماتریسی را نشان می دهد. مقدار ولتاژ و فرکانس خروجی

^۱ wind energy conversion systems

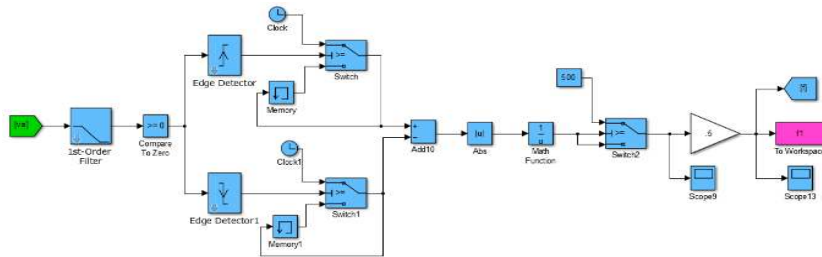
ژنراتور به صورت آنلاین توسط فرکانس متر پیشنهادی و موثر سنج جهت بهبود کنترل سوئیچ های مبدل ماتریسی محاسبه می شود. f_0 و V_0 به ترتیب ولتاژ و فرکانس مطلوب خروجی هستند. اتصال ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم به شبکه با استفاده از مبدل ماتریسی با لینک dc شبیه سازی و بررسی شده است و نتایج استفاده از روش کنترلی پیشنهادی در تخمین سرعت باد و انتقال توان ماکزیمم مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۷: سیستم شبیه سازی شده

۶-۱- فرکانس متر آنلاین

جهت بهبود کنترل مبدل ماتریسی در شبیه سازی از یک فرکانس متر آنلاین استفاده شده است. این فرکانس متر به طور محسوسی باعث بهبود در کیفیت توان خروجی ژنراتور می گردد و کلید زنی با دقت بهتری صورت می گیرد.



شکل ۸: بلوک تشکیل دهنده فرکانس متر پیشنهادی

در شکل (۸)، ولتاژ خروجی ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم (V_a) به عنوان سیگنال ورودی به بلوک فرکانس متر استفاده شده است. در آغاز شبیه سازی به علت اینکه فاصله گذر از صفرها خیلی کوچک است، خروجی فرکانس متر به زیر ۵۰۰ (هر عدد دلخواه متناهی) محدود شده است. فرکانس محاسبه شده f_1 به بلوک تعیین زمان های سوئیچ زنی جهت بهبود کنترل مبدل ماتریسی اعمال می شود.

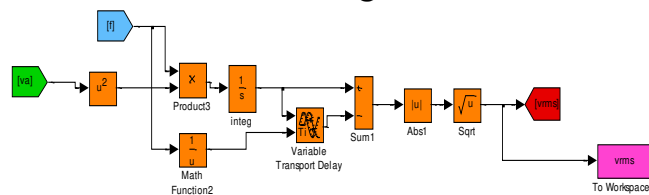
۶-۲- موثر سنج آنلاین

از آنجایی که خروجی توربین بادی دارای فرکانس متغییر است، بنابراین نمی توان از بلوک موثر سنج متلب/سیمولینک بهره جست. اساس کار این بلوک بر اساس رابطه (۳۱) بنا شده است.

$$V_{rms} = \left(\frac{1}{T} \int_{t-T}^t V_a(t)^2 \right)^{0.5} = (V(t) - V(t-T))^{0.5} \quad (30)$$

$V_a(t)$: تابع سیگنال ورودی موثر سنج

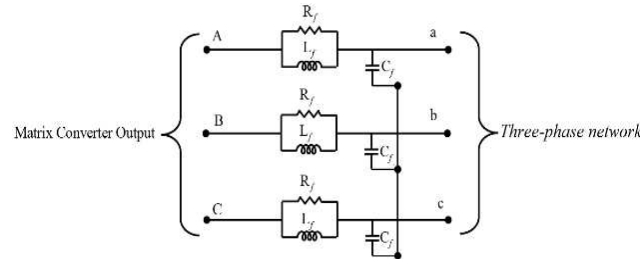
$V(t)$: تابع انتگرال گیری شده از مجذور سیگنال ورودی موثر سنج



شکل ۹: بلوک تشکیل دهنده موثر سنج آنلاین

۶-۳- استفاده از فیلتر در خروجی مبدل ماتریسی

جهت حذف مولفه های فرکانس بالا و عبور فرکانس ۵۰ Hz در خروجی مبدل ماتریسی از یک فیلتر پایین گذر با مقادیر $R=10\Omega$ ، $L=550\mu H$ و $C=100\mu f$ با توپولوژی زیر استفاده شده است.



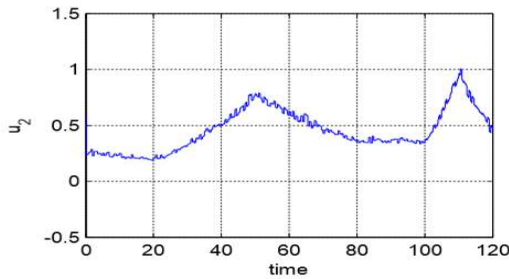
شکل ۱۰: فیلتر خروجی مبدل ماتریسی

تابع تبدیل فیلتر به صورت رابطه های (۳۱) قابل نمایش است.

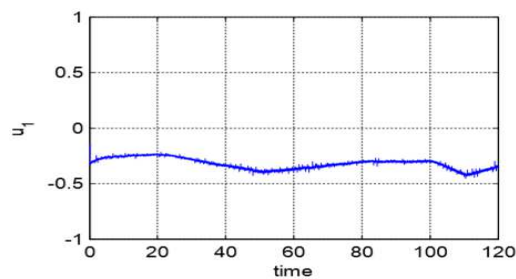
$$H(j\omega) = \sqrt{\frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C} + j\omega LR} \cdot \frac{1}{j\omega C + R + j\omega L}} \quad (31)$$

۷. نتایج شبیه سازی

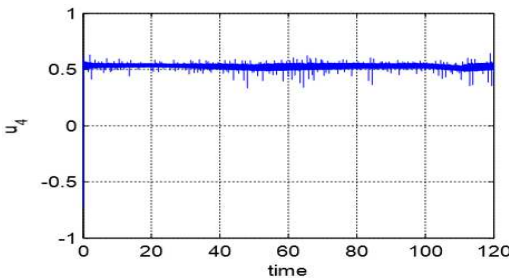
پارامترها و متغیرهای ورودی و خروجی در سیستم مورد نظر شبیه سازی شده و نتایج حاصل از شبیه سازی انجام گرفته در شکل های (۱۱) تا (۲۴) آورده شده است.



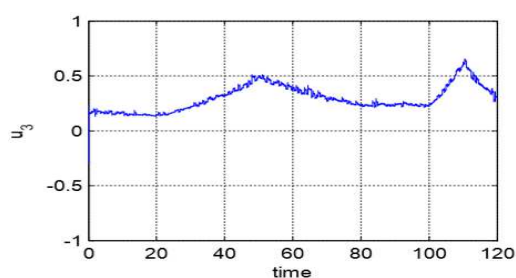
شکل ۱۲: خروجی متغیر کنترلی u_2



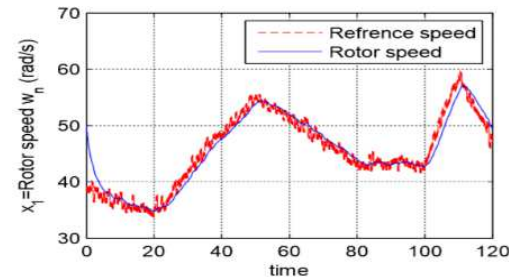
شکل ۱۱: خروجی متغیر کنترلی u_1



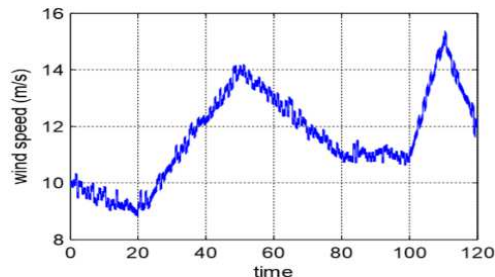
شکل ۱۴: خروجی متغیر کنترلی u_4



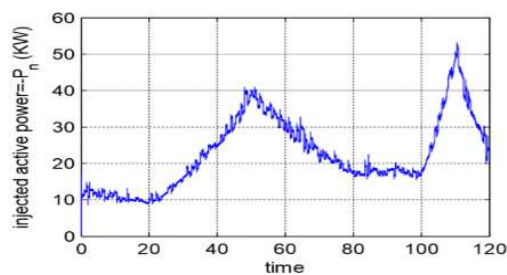
شکل ۱۳: خروجی متغیر کنترلی u_3



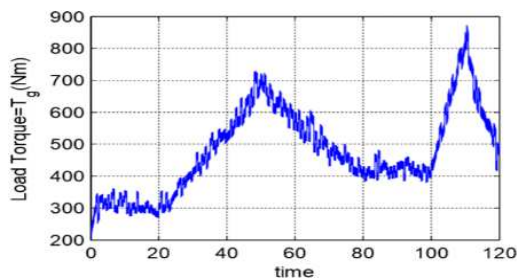
شکل ۱۶: سرعت روتور تخمین زده شده (rad/s)



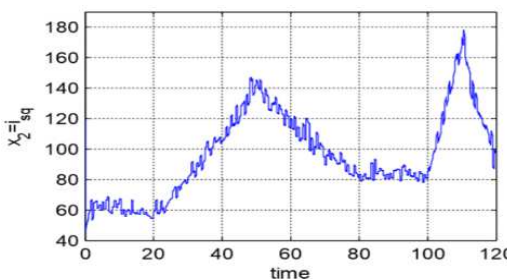
شکل ۱۵: سرعت باد ایجاد شده



شکل ۱۸: توان اکتیو تزریقی

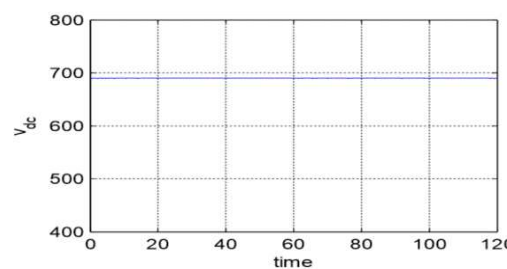


شکل ۱۷: گشتاور بار یا همان گشتاور ژنراتور

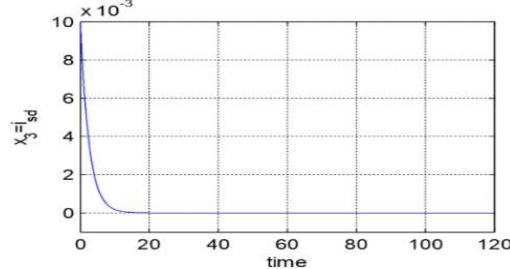


شکل ۱۹: توان راکتیو تزریقی

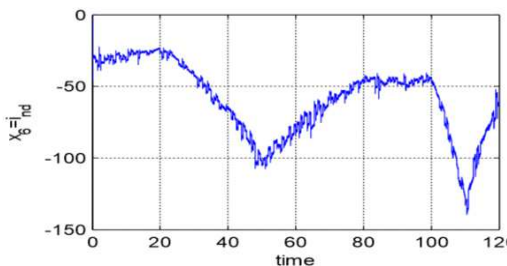
شکل ۲۰: جریان محور q استاتور (x_r)



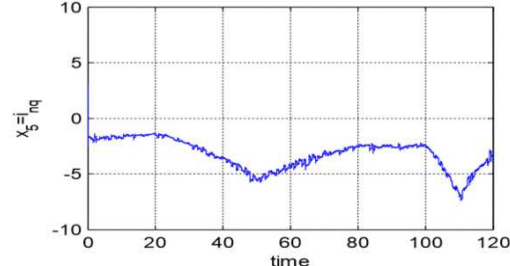
شکل ۲۲: ولتاژ لینک dc



شکل ۲۱: جریان محور d استاتور (x_r)



شکل ۲۴: جریان محور d سمت شبکه (x_g)



شکل ۲۳: جریان محور q سمت شبکه (x_g)

۸. نتیجه گیری

در این مقاله به شبیه‌سازی ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم با مبدل ماتریسی و روش کنترلی مد لغزشی پرداخته شد. برای طراحی کنترل‌کننده مد لغزشی از معادلات حالت حاکم بر ژنراتور مغناطیس دائم استفاده شد. این کنترل‌کننده توانست با کمک استفاده از لینک dc خروجی توربین را بدون نیاز به حسگر سرعت باد و به صورت دقیق و مقاوم تخمین بزند و متناسب با تغییرات سرعت باد ماکزیمم توان را به شبکه انتقال دهد. طراحی مبدل ماتریسی و سیستم کنترلی پیشنهادی با کنترل زوایای آتش در تریستورهای مبدل ماتریسی دارای لینک dc بدون سنسور باد بررسی شد و شبیه‌سازی‌ها سرعت، دقت و مقاوم بودن آن را نشان دادند.

جدول ۱: پارامترهای توربین بادی PMSG

PMSG	$P_n = 50 \text{ kW}; R_s = 0.3 \Omega; L_s = 17.5 \text{ mH}$ $F = 1.417 \text{ Nm/rd/s}; J = 8.22 \text{ Nm/rd/s}^2$ $P = 8; \varphi_r = 0.876 \text{ wb}$
Supply network voltage	tri-phase 380V-220V/50Hz
Matrix Converters	$C = 100 \mu\text{f}; L = 550 \mu\text{H}; f_{sw} = 10 \text{ kHz}$

۹. مراجع

- R. Mittal, K.S.Sandhu, and D.K.Jain, "Battery Energy Storage System for Variable Speed Driven PMSG for Wind Energy Conversion System," *International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, pp. ۱-۵, December, ۲۰۱۰.
- B. Wu, Y. Lang, N. Zargari, S. Kouro, "Power Conversion and Control of Wind Energy Systems," IEEE Press Series on Power Engineering, A John Wiley and Sons, Inc., Publication, ۲۰۱۱.
- A. Mesemanolis, C. Mademlis, and I. Kioskeridis, "Maximum Efficiency of a Wind Energy Conversion System with a PM Synchronous Generator," ۷th Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion, pp. ۱-۹, November, ۲۰۱۰.
- Munteanu, I., Bratcu, A.I., Cutululis, N.A., Ceanga, E., "Optimal Control of Wind Energy Systems," *Towards a Global Approach (Advances in Industrial Control)*, Verlag London, England, Springer, ۲۰۰۸.
- Babaei, Ebrahim, and Seyed Hossein Hosseini. "Generalized Direct Modulation Control Methods for Matrix Converters under Balanced and Unbalanced Operations." *Arabian Journal for Science and Engineering* ۳۸, no. ۹ (۲۰۱۳): ۲۴۲۳-۲۴۳۸.
- A El Magri, F Giri, G Besancon, A El Fadili, L Dugard, FZ Chaoui, "Sensorless adaptive output feedback control of wind energy systems with PMS generators," *Control Engineering Practice* ۲۱ (۲۰۱۳) ۵۳۰-۵۴۳.
- S. Musunuri and H. L. Ginn, "Comprehensive review of wind energy maximum power extraction algorithms," in *Proc. IEEE Power Energy Soc. General Meeting*, pp. ۱-۸, Jul, ۲۰۱۱.