



بهبود عملکرد و پایداری نیروگاه بادی مجهز به ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه با استفاده از محدود کننده جریان خطا

مهدی فرزین فر، استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه دامغان

هاتف خوشکار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری

چکیده

اضافه شدن واحدهای تولید پراکنده به سیستم توزیع دارای مزیتها و معایبی در طراحی و بهره برداری از سیستم توزیع می باشد. یکی از این معایب، تاثیر آن بر افزایش سطح اتصال کوتاه شبکه و تجهیزات سیستم می باشد. به عبارت دیگر در حضور منابع تولید پراکنده و در شرایط وقوع خطا سطح اتصال کوتاه شبکه افزایش یافته که می تواند منجر به آسیب دیدن تجهیزات موجود گردد. از طرف دیگر در شرایط خطا پایداری منابع تولید پراکنده نیز ممکن از دست رفته و موجب قطع غیر ضروری منبع گردد. در این مقاله طرحی مبتنی بر استفاده از محدودسازهای جریان خطا پیشنهاد شده است که علاوه بر توانایی کاهش جریان خطای سیستم، باعث بهبود پایداری منابع تولید پراکنده - که در این پژوهش از نوع نیروگاه بادی از دو سو تغذیه در نظر گرفته شده است - در زمان بروز خطا میگردد.

کلیدواژه ها: توربین بادی سرعت متغیر¹، ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه²، محدودساز جریان خطا³، ابررسانا

1- مقدمه

با توجه به گستردگی سیستم قدرت، خطای اتصال کوتاه در سیستم قدرت امری غیر قابل اجتناب است. بخش عمده صدماتی که به تجهیزات سیستم قدرت وارد می گردد ناشی از جاری شدن جریان اتصال کوتاه از منابع تزریق جریان تا محل خطا، به علت استرس های مکانیکی و حرارتی ناشی از جریان اتصال کوتاه به تجهیزات موجود در خط از قبیل مدار شکن ها، کابل ها، ترانسفورماتورها و غیره می باشد. بنابراین تجهیزاتی که در سیستم قدرت مورد استفاده قرار می گیرد بالاخص مدار شکن های موجود در خطوط باید قدرت تحمل استرس های ناشی از جریان های اتصال کوتاه را داشته باشد. با گسترش سیستم های قدرت و افزایش منابع تولید پراکنده برای تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کنندگان و از سوی دیگر تامین برق مطمئن و با کیفیت مطلوب به مشترکین باعث افزایش اتصالات موازی و بزرگ شدن شبکه شده و باعث افزایش سطح اتصال کوتاه در سیستم می گردد. دلایل عمده افزایش سطح اتصال کوتاه در سیستم می تواند شامل: احداث نیروگاه های جدید برای تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کنندگان، افزایش استفاده از منابع تولید پراکنده از قبیل نیروگاه های بادی، اتصال داخلی شبکه ها به یکدیگر و کاهش امپدانس نقطه اتصالی

¹ Variable speed wind Turbine

² Doubly-fed Induction Generator

³ Fault Current Limiter



باشد. از آنجا که مدارشکن‌ها به طور معمول 8 الی 10 سیکل طول می‌کشد تا مدار را قطع کند، افزایش جریان اتصال کوتاه از قدرت تحمل تجهیزات موجود باعث می‌شود تا استرس‌های ناشی از جریان اتصال کوتاه به تجهیزات موجود در مسیر خطا آسیب بزند و در مواقعی، در صورت عمل نکردن مدارشکن‌ها باعث وارد آمدن خسارت‌های جدی به سیستم قدرت گردد. بنابراین جریان اتصال کوتاه در شبکه را باید به گونه‌ای کاهش و کنترل کرد تا قبل از بازکردن کلیدهای قدرت جریان خطا محدود گردد و کلیدهای قدرت به راحتی عمل کنند. یک راه حل طبیعی و ساده برای جلوگیری از آسیب دیدن تجهیزات، جایگزینی ادوات موجود در سیستم با ادواتی با مقادیر نامی بالاتر و در حد جریان اتصال کوتاه است. اما این روش بسیار پرهزینه است و گاهی اوقات تولید تجهیزاتی در سطح اتصال کوتاه بالا از لحاظ تجاری و اقتصادی امکان‌پذیر نیست. بنابراین یک راه حل اقتصادی و مقرون به صرفه برای همیشه نیست. بنابراین برای جلوگیری از آسیب دیدن تجهیزات و افزایش قابلیت اطمینان سیستم باید راه‌کارهایی برای محدودسازی جریان اتصال کوتاه در نظر گرفته شود [2و1].

چالش دیگری که در هنگام وقوع خطا در شبکه‌های مجهز به نیروگاه‌های بادی رخ می‌دهد، ناپایداری نیروگاه و خروج غیرضروری آن می‌باشد. در واقع این منابع یک مشخصه قابلیت عبور از شرایط خطا (FRT^4) را دارند که اگر در مدت زمان مجاز شرایط بهره‌برداری (همچون ولتاژ نقطه اتصال) به حالت نرمال برنگردد، نیروگاه ناپایدار و از مدار خارج می‌گردد. ازینرو ارائه راه حلی جهت افزایش پایداری این منابع در شرایط خطا حائز اهمیت می‌باشد [3و4].

امروزه با ظهور تکنولوژی‌های مختلف محدودسازهای جریان خطا، می‌توان جریان را در سطح قدرت تحمل و مقدار نامی تجهیزات موجود کنترل کرد و دیگر نیازی به جایگزینی تجهیزات به ادواتی با مقادیر نامی بالاتر نمی‌باشد. استفاده از این منابع بویژه در شبکه‌هایی که مجهز به منابع تولید پراکنده می‌باشند راهکار موثری می‌باشد [5]. در این مقاله با علم به دو چالش مطرح شده، استفاده از محدودکننده جریان خطا نوع ابرسانا برای کاهش جریان اتصال کوتاه ناشی از نیروگاه‌های بادی به شبکه قدرت مورد استفاده قرار گرفته شده است. همچنین طرح پیشنهادی علاوه بر کنترل سطح اتصال کوتاه پایداری نیروگاه بادی را نیز با توجه به مشخصه قابلیت عبور از شرایط خطا بهبود میدهد که نتایج به روشنی این موضوع را نشان می‌دهند. به منظور مقایسه بهتر، تاثیر تکنولوژی‌های مختلف محدودسازهای جریان خطا بر بهبود پایداری نیروگاه بادی مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفته است.

2- محدودساز جریان خطای ابرسانائی

اساس کار محدودکننده‌های جریان خطا ابرسانا به این صورت است که در طی شرایط نرمال شبکه امپدانس این نوع از محدودکننده‌ها برابر صفر است، بدین ترتیب هیچگونه افت ولتاژی در طی شرایط نرمال شبکه دو سر ظاهر نمی‌شود. اما با اعمال خطا به شبکه، امپدانس ($SFCL^5$) محدودکننده به خاطر تغییر مد از حالت ابرسانائی به حالت نرمال سریعا بالا می‌رود و باعث محدودسازی جریان خطای شبکه خواهد شد. این نوع محدودکننده‌ها نیاز به مدار کنترلی ندارند و به صورت خودکار در لحظه خطای اتصال کوتاه امپدانس محدودکننده افزایش می‌یابد و در کمتر از نیم سیکل جریان خطا را محدود می‌کند [6 و 7].

1-2 ابرسانائی مقاومتی

از میان همه محدودکننده‌ها، محدودکننده ابرسانائی دما بالای نوع مقاومتی در صورتی که به خوبی طراحی شود موثرتر، کم‌حجم‌تر و ارزانتر از دیگر محدودسازها است. محدودساز ابرسانائی نوع مقاومتی، محدودکننده‌های خود تحریک هستند که اگر جریان خطا از جریان بحرانی ابرسانا تخطی کند با گذر از حالت ابرسانائی به حالت نرمال، جریان خطا را محدود می‌کند. در طول شرایط نرمال شبکه از آنجائیکه مقاومت ابرسانا صفر است جریان عبوری بدون هیچ گونه تلفات انرژی از ابرسانا می‌گذرد. اما، وقتی که جریان خطا از جریان بحرانی تخطی کند، ابرسانا از حالت ابرسانائی به حالت نرمال گذر تغییر می‌کند. به واسطه این پدیده، که فرونشانی (Quench) ابرسانا نامیده می‌شود، مقاومت محدودکننده افزایش می‌یابد و جریان خطا محدود می‌شود. بعد از اینکه جریان خطا کاهش یافت و قطع شد، ابرسانا از حالت نرمال به حالت ابرسانائی بر می‌گردد.

⁴ Fault Ride Trough

⁵ . Superconducting Fault Current Limiter

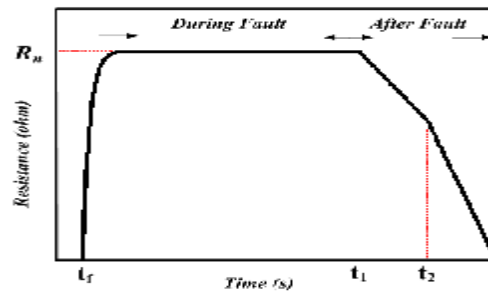


معادله‌های (1) و (2) رفتار محدودکننده ابررسانای مقاومتی را در زمان خطا و بعد از رفع خطا نشان می‌دهد. معادله (1) رفتار این محدودکننده را در زمان خطا نشان می‌دهد و با یک تابع نمایی مدل‌سازی گشته است. معادله (2) رفتار این محدودکننده بعد از رفع خطا را نشان می‌دهد و با دو تابع خطی که دارای شیب‌های منفی بیان می‌گردد.

$$R_{sc}(t) = R_n \left(1 - \exp\left(-\frac{t-t_0}{T_F}\right) \right) \quad t_f < t < t_1 \quad (1)$$

$$R_{sc}(t) = \begin{cases} a_1(t-t_1)+b_1 & t_1 < t < t_2 \\ a_2(t-t_2)+b_2 & t > t_2 \end{cases} \quad (2)$$

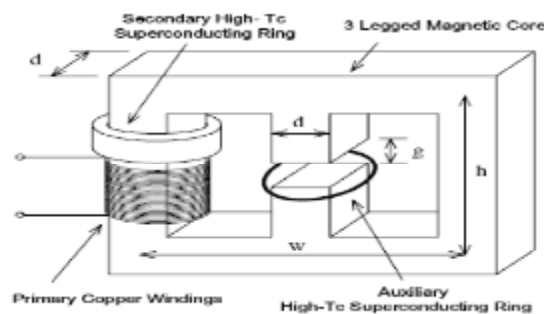
R_n, T_f, t_0 به ترتیب حداکثر مقاومت ابررسانا در زمان خطا، ثابت زمانی و زمان شروع خطا هستند. a_2, a_1 به ترتیب نشان‌دهنده شیب بازیابی در زمان t_2, t_1 هستند. b_2, b_1 به ترتیب نشان‌دهنده مقاومت شروع در زمان t_2, t_1 هستند. شکل (1) مشخصه محدودکننده جریان خطا ابررسانای مقاومتی را نشان می‌دهد که برای تحلیل به کار رفته است [6 و 7].



شکل 1- مشخصه محدودکننده جریان خطا ابررسانای نوع مقاومتی

2-2 محدودکننده ابررسانای سلفی

اساس ساختمان القایی از یک سیم‌پیچ اولیه مسی و یک سیم‌پیچ ثانویه ابررسانا، که به وسیله یک هسته آهنی با هم کوپل شده‌اند، تشکیل شده است. تحت شرایط نرمال سیم پیچ ثانویه ابررساناست پس هیچگونه امپدانس در اولیه ظاهر نمی‌شود. با اعمال خطا به شبکه سیم پیچ ثانویه از حالت ابررسانایی به حالت نرمال تبدیل می‌شود و امپدانس ناشی از آن جریان خطا را محدود می‌کند. شکل (2) ساختار محدود کننده از نوع سلفی را نشان می‌دهد [8].

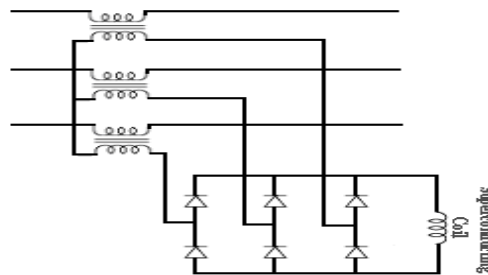


شکل 2- ساختار محدود کننده ابررسانای نوع سلفی



2-3 ابررسانا از نوع پل دیودی

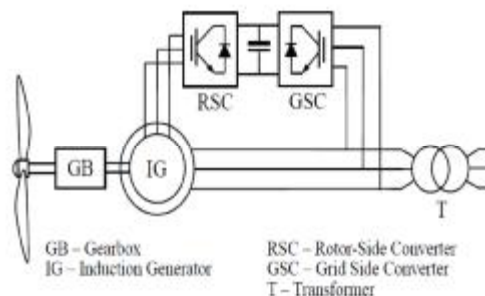
همانطور که در Error! Reference source not found. (3) مشاهده می شود این نوع محدودکننده ابررسانا به یکسوکنده دیودی متصل شده و از طریق یک ترانسفورماتور به صورت سری با خط قرار گرفته است. در این نوع محدودکننده پدیده فرونشانی (Quench) رخ نمی دهد و به همین دلیل تلفات ناشی از پدیده فرونشانی در این نوع محدودکننده وجود ندارد. در حالت عملکرد دائمی شبکه جریان عبوری از ابررسانا تقریباً ثابت است و در نتیجه طرف ثانویه ترانس مانند اتصال کوتاه عمل می کند و در نتیجه افت ولتاژ روی ثانویه ترانس صفر بوده و متعاقب آن افت ولتاژ روی اولیه ترانس تقریباً صفر است، بنابراین محدودساز جریان خطا در حالت عملکرد نرمال شبکه هیچگونه تاثیری ندارد و این یکی از مزایای مهم این نوع محدودساز است. وقتی که خطائی در سمت بار رخ می دهد، مدار امپدانس ناشی از ابررسانا جریان خطا را محدود می کند. مهمترین مزیت این نوع محدودکننده این است که در لحظه اتصال کوتاه امپدانس ناشی از ابررسانا از جهش ناگهانی جریان خطا جلوگیری می کند، که این مشخصه این نوع محدودکننده باعث بهبود عملکرد گذرای سیستم می گردد [9].



شکل 3- ساختار محدودکننده ابررسانای از نوع پل دیودی

3- مدلسازی و تحلیل عملکرد توربین بادی با سرعت متغیر مجهز به ژنراتور القایی روتور سیم پیچی شده با تغذیه دوگانه

ژنراتورهای DFIG همان ژنراتورهای WRIG هستند که استاتور آنها مستقیماً به یک شبکه سه فاز با فرکانس ثابت و روتور آنها به یک مبدل ولتاژ متصل شده است. این مبدل با تزریق جریان با فرکانس متغیر، اختلاف بین فرکانس الکتریکی و مکانیکی را جبران می کند. مبدل سمت روتور با کنترل جریان روتور، توان اکتیو و راکتیو را کنترل می کند در حالی که مبدل سمت استاتور ولتاژ لینک DC را کنترل می کند و ضریب توان خروجی را در نزدیکی یک نگه می دارد. همچنین استاتور روتور DFIG نیاز به مغناطیسه شدن از طرف شبکه و کشیدن توان راکتیو از شبکه ندارد و می تواند از سمت روتور نیز مغناطیسه شود و قادر است توان راکتیو کشیده شده از سمت شبکه به سمت استاتور را به کمک مبدل سمت استاتور تامین کند. همان طور که گفته شد، مبدل طرف شبکه در ضریب توان واحد عمل می کند و خود را درگیر تبادل توان راکتیو نمی کند. عمده ترین نارسائی های این روش، استفاده از حلقه های لغزان و محافظت آن در برابر خطاهای شبکه است [10 و 11].



شکل 4- مدل توربین بادی سرعت متغیر مجهز به ژنراتور القایی روتور سیم پیچی شده با تغذیه دوگانه

3-1 معالات ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه



در دستگاه مختصات همزمان نصب شده به استاتور، ولتاژها، ولتاژهای استاتور و روتور را می توان بصورت زیر شرح داد.

$$V_s = R_s I_s + L_s \frac{\partial I_s}{\partial t} + L_m \frac{\partial I_r}{\partial t} + j w_b Y_s \quad (3)$$

$$V_r = R_r I_r + L_r \frac{\partial I_r}{\partial t} + L_m \frac{\partial I_s}{\partial t} + j w_s Y_r \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Y_s &= L_s I_s + L_m I_r \\ Y_r &= L_r I_r + L_m I_s \end{aligned} \quad (5)$$

که I_s, I_r به ترتیب جریانهای روتور و استاتور، l_m, l_r, l_s به ترتیب اندوکتانس پراکنده استاتور، اندوکتانس پراکنده روتور و اندوکتانس مغناطیس شونده می باشد. R_r, R_s به ترتیب مقاومت های استاتور و روتور می باشد. w_s, w_b به ترتیب فرکانسهای زاویه ای مبنا و استاتور هستند. با توجه به مدل ریاضی ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه، قدرت کنشی و قدرت واکنشی ایجاد عبارتند از [11 و 12]:

$$P_s = \frac{3}{2} V_s \frac{L_m}{L_s} I_{rq} \quad (6)$$

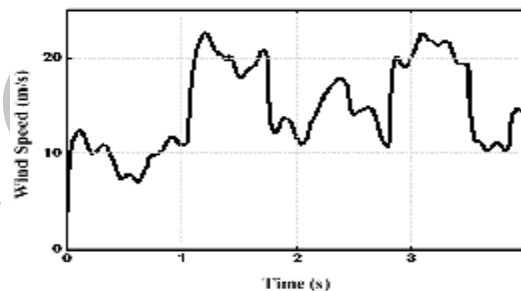
$$Q_s = \frac{3}{2} \left(\frac{V_s^2}{w_s L_s} - \frac{V_s L_m I_{rd}}{L_s} \right) \quad (7)$$

2-3 مدل سرعت باد

همانطور که در شکل (5) می بینیم، سرعت باد بعنوان مجموعه جزء زیر نمونه سازی می شود:

سرعت باد مبنا، سرعت باد منقلب، سرعت باد شیبدار - سرعت باد نویز

سرعت باد پایدار توربین (متر بر ثانیه) 15 متر بر ثانیه است.



شکل 5- مدل سرعت باد

3-3 مدل شفت

برای مطالعه قابلیت کنترل ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه هنگام خرابی سیستم مدل دو جرمی برای سیستم و دینامیک مکانیکی بکار می روند

که در شکل (6) می بینید. مدل دو جرمی به صورت زیر تعریف می شود:

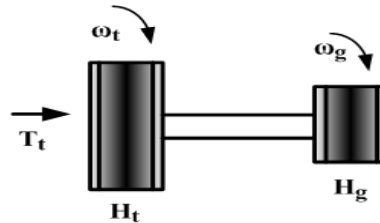
$$\frac{\partial q_s}{\partial t} = w_s - w_g \quad (8)$$

$$T_t = J_t \frac{\partial w_s}{\partial t} - K_s q_s \quad (9)$$



$$T_e = J_g \frac{\partial \omega_g}{\partial t} - K_s q_s \quad (10)$$

که T_t گشتاور مکانیکی سمت ژنراتور، T_e گشتاور الکترو مغناطیسی، J_t اینرسی توربین، I_g اینرسی ژنراتور W_t سرعت چرخش شفت توربین، W_g سرعت چرخش ژنراتور و K_s ثابت شفت می باشد.



شکل 6- مدل دو جرمی قطار توربین بادی

3-4 مدل توربین بادی

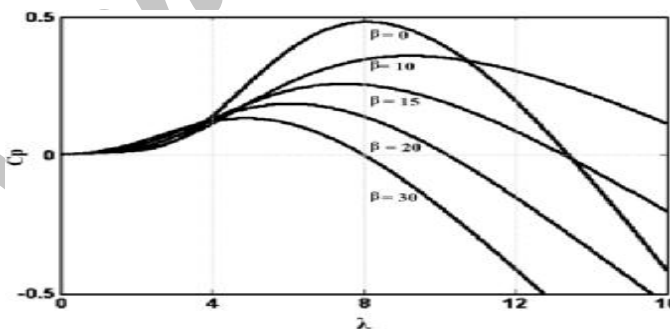
قدرت مکانیکی که توربین بادی تولید می کند معادله زیر را دنبال می کند:

$$P_{wt} = \frac{r}{2} A_{wt} C_p(I, q) v_w^3 \quad (11)$$

بنابراین قدرت مکانیکی که از باد P_{wt} استخراج شد به چگالی هوا (P) بستگی دارد، V_w سرعت باد، C_p ضریب عملکرد یا ضریب قدرت، I نسبت سرعت دوران تیغه، $pR^2 = (A_{wt})$ مساحت پوشیده شده با روتور توربین بادی، R شعاع نسبت سرعت دوران تیغه است و I بصورت زیر تعریف می شود:

$$I = \frac{R \omega_r}{v_w} \quad (12)$$

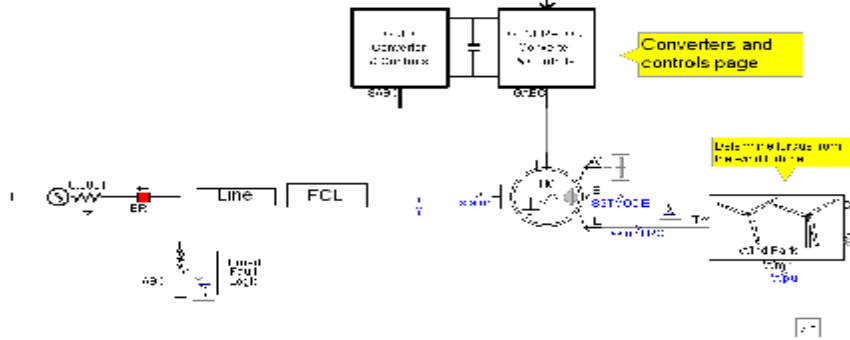
رابطه بین cp و I زوایای گام مختلف B در شکل (7) نشان داده شده است [11 و 12].



شکل 7- منحنی های $cp-\lambda$ برای زوایای گام مختلف

4- شبیه سازی و نتایج

برای بررسی و مقایسه رفتار محدودکننده جریان خطا ابرسانی نوع مقاومتی، سلفی و پل دیودی همچنین در عملکرد نیروگاه بادی سرعت متغیر از سیستم نمونه نشان داده در شکل (8) استفاده شده است. نیروگاه بادی توسط یک خط دو مداره به شبکه متصل گردیده شده است. پارامترهای ژنراتور القایی مورد استفاده در جدول شماره (1) آمده است.



شکل 8 - سیستم شبیه سازی شده

در زمان $t=10sec$ یک خطای اتصال کوتاه سه فاز در خط طبق شکل (8) اتفاق می افتد. برای بررسی تاثیر محدودکننده جریان خطا نوع مقاومتی، سلفی و ابرسانا پل دیودی شبیه سازی در 4 حالت زیر انجام می گردد:

حالت 1: بدون استفاده از محدودکننده جریان خطا ($No-FCL$)

حالت 2: با استفاده از محدودکننده ابرسانای نوع مقاومتی ($type-R$)

حالت 3: با استفاده از ابرسانای نوع سلفی ($type-L$)

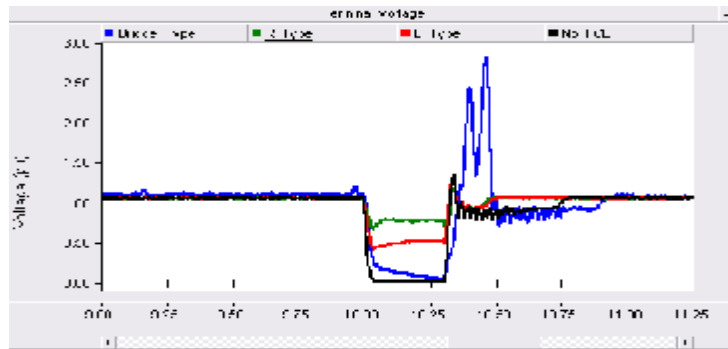
حالت 4: با استفاده از محدودکننده ابرسانای نوع پل دیودی ($type-Bridge$)

	پارامترها	مقادیر
شبکه	Supply	13.8 kV
	Frequency	50Hz
	X/R ratio	8
ژنراتور القایی قفس سنجایی	Power	5MW
	Voltage	690 V
	Frequency	50 Hz
	Reactive power(no load)	186 kvar
	Stator resistance	0.0044 Ω
	Stator reactance	0.0562 Ω
	Rotor resistance	0.0361 Ω
Rotor reactance	0.12 Ω	
	Magnetizing reactance	4.5 Ω



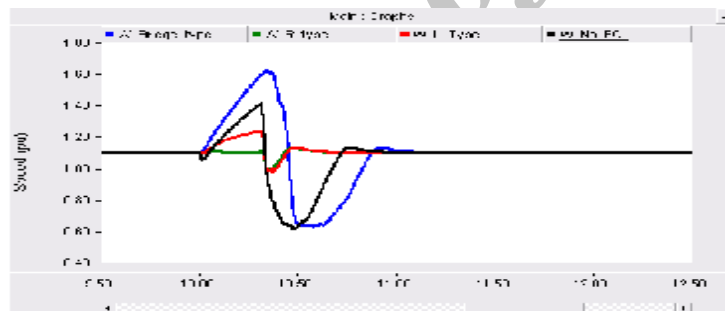
جدول 1- پارامترهای سیستم مورد مطالعه

حال شبیه‌سازی‌ها در 4 حالت بیان شده مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد. خطا در زمان $t=10sec$ رخ داده و بعد از مدت 03 ثانیه خطا برطرف می‌گردد. شکل (9) ولتاژ ترمینال نیروگاه بادی را در چهار حالت نشان می‌دهد. مقدار نهایی مقاومت ابرسانا مورد استفاده در نوع مقاومتی و سلفی برابر 2 اهم می‌باشد. همانطور که نشان داده شده است، وجود محدودکننده در زمان خطا از افت ولتاژ عمیق در ترمینال جلوگیری کرده است و همچنین باعث برگشت سریع ولتاژ گشته است. همانطور که در شکلها مشخص است محدودکننده مقاومتی عملکرد بهتری نسبت به سلفی و پل دیودی دارد. همچنین در حالت 4 ولتاژ ترمینال به آرامی کاهش می‌یابد که این به علت مشخصه محدودکننده پل دیودی است. ولی در زمان بازیابی ولتاژ عملکرد نامناسبی دارد.

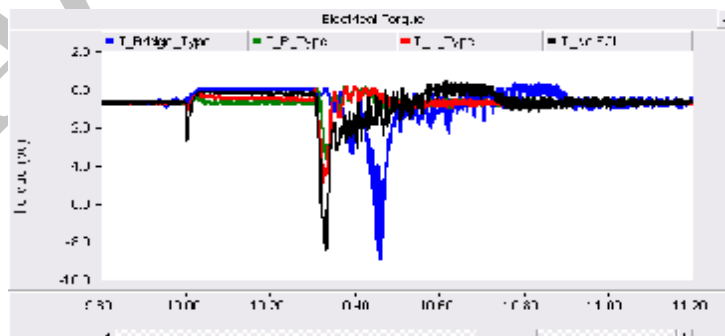


شکل 9- ولتاژ ترمینال در چهار حالت

شکل (10) سرعت روتور را در چهار حالت نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است، محدودکننده مقاومتی به خوبی نوسانات سرعت روتور را میرا کرده است. محدودکننده های سلفی نیز باعث میرایی سرعت روتور گشته است ولی محدودکننده پل دیودی باعث افزایش دامنه نوسانات گشته است.



شکل 10- سرعت روتور در چهار حالت

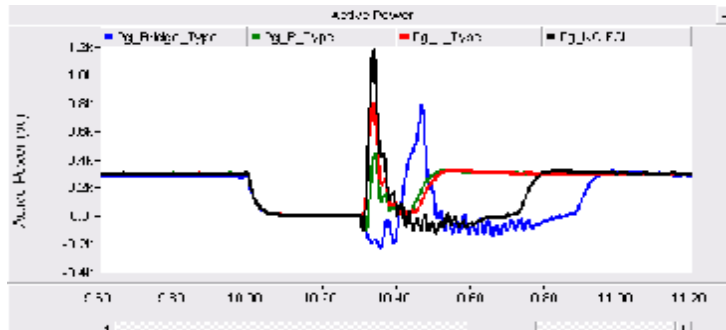


شکل 11- گشتاور الکتریکی ژنراتور در چهار حالت

شکل (11) گشتاور الکتریکی ژنراتور را در چهار حالت نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد، تغییرات گشتاور در مدت زمان خطا بسیار کم است، ولی بعد از رفع خطا نوسانات آن در حالت استفاده از محدودکننده پل دیودی زیاد می‌شود که این نوسانات به علت خاصیت سلفی آن می‌باشد.

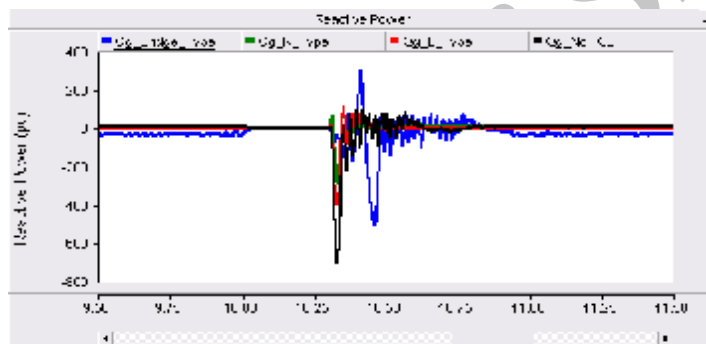


شکل (12) نمودار توان اکتیو نیروگاه بادی را با و بدون حضور محدودکننده نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، نوسانات توان اکتیو تبدلی در زمان خطا به علت حضور محدودکننده کاهش یافته است. افزایش ولتاژ ترمینال در زمان خطا منجر به کاهش افت توان گشته که این امر، ناشی از کاهش افت ولتاژ ترمینال در حالت استفاده از محدودکننده جریان خطا بوده است. همچنین تغییرات توان اکتیو و راکتیو در زمان بروز خطا نسبت به حالت بدون محدودکننده بسیار آرام است.



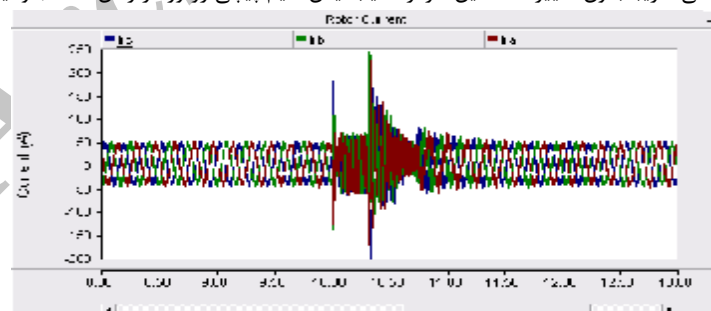
شکل 12- توان اکتیو ژنراتور القایی در 4 حالت

شکل (13) توان راکتیو مصرفی توسط ژنراتور القایی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است، توان راکتیو مصرفی توسط ژنراتور القایی در زمان خطا کاهش یافته و از طرفی دیگر، به علت توان جذب شده از شبکه بعد از رفع خطا به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است.



شکل 13- توان راکتیو ژنراتور القایی در چهار حالت

شکل های (14) تا (17) جریان روتور را در شرایط خطا نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل‌ها نشان داده شده است، دامنه جریان رتور در زمان خطا به علت حضور محدودکننده سلفی و مقاومتی تقریباً بدون تغییر است. این امر از آسیب دیدن سیم پیچی روتور در زمان خطا جلوگیری می‌کند.

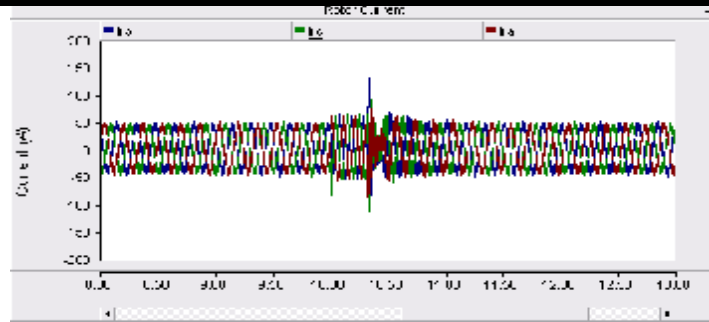


شکل 14- جریان روتور در حالت بدون محدودکننده

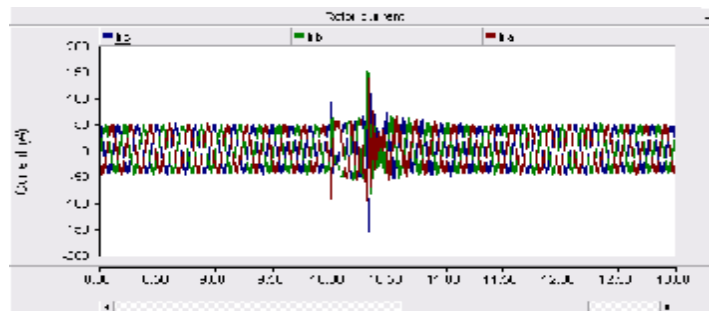


کنفرانس ملی فناوری های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر

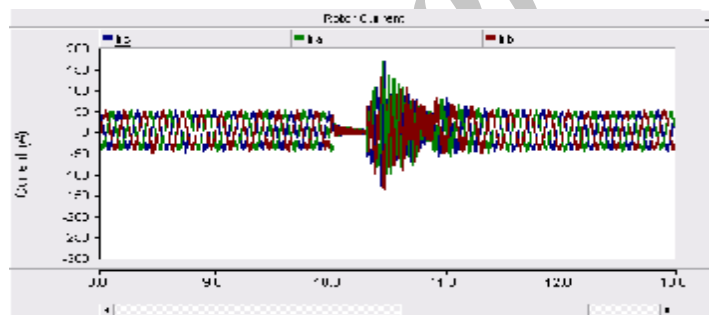
۲۷ دی ۱۳۹۶



شکل 15- جریان روتور در حالت استفاده از محدودکننده مقاومتی

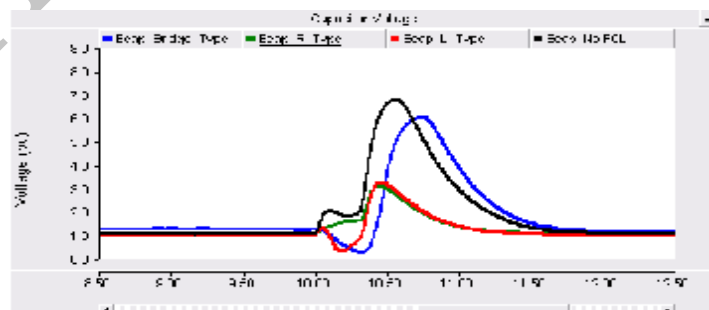


شکل 16- جریان روتور در حالت استفاده از محدود کننده سلفی



شکل 17- جریان روتور در حالت استفاده از محدودکننده پل دیودی

شکل (18) ولتاژ لینک DC را در چهار حالت نشان می دهد. همانطور که در شکل مشاهده می شود استفاده از محدودکننده های سلفی و مقاومتی باعث کاهش تغییرات نوسانات لینک DC شده، در حالی که از محدودکننده ی پل دیودی نوسانات را افزایش می دهد.



شکل 18- ولتاژ لینک DC در 4 حالت



5- نتیجه گیری

در این مقاله تأثیر محدودکننده جریان خطا بر عملکرد نیروگاه بادی سرعت متغیر از نوع ژنراتور القایی دو سو تغذیه و نقش آنها در پایداری سازی نیروگاه بادی در زمان بروز خطا ارائه گردید. در این مقاله ابتدا به معرفی انواع محدودکننده های جریان خطا ابر رسانا و مشخصه عملکردی آنها پرداخته شد و سپس تأثیر هر یک از این محدودکننده ها در ناپایداری نیروگاه بادی مورد بررسی و شبیه سازی قرار گرفت و نتایجی حاصل شد، که در زیر آمده است:

1- محدودکننده های جریان خطا در شرایط اتصال کوتاه، از افزایش جریان اتصال کوتاه ناشی از نیروگاه بادی متصل به شبکه جلوگیری می کند. این امر نه تنها از آسیب دیدن تجهیزات سری خط جلوگیری می کند بلکه این امکان را می دهد که همان تجهیزات بدون جایگزین شدن با تجهیزاتی با مقادیر نامی بالاتر به عملکرد خود ادامه دهد.

2- محدودکننده جریان خطا با جلوگیری از کاهش ولتاژ ترمینال در زمان خطا و همچنین افزایش سرعت روتور، توان راکتیو مورد نیاز نیروگاه بادی را بعد از رفع خطا نیز کاهش می دهد. که این امر باعث بازیابی سریعتر ولتاژ بعد از رفع خطا می گردد.

3- محدودکننده های جریان خطا دارای انواع مختلفی می باشد که محدودکننده جریان خطا از نوع ابر رسانا یکی از انواع این محدود کننده ها می باشد، که در ساختار آن از ابر رسانا به عنوان عنصر محدودکننده استفاده شده است. مهمترین مزیت این نوع محدود کننده عدم نیاز به سیستم کنترلی می باشد.

4- در این مقاله تأثیر انواع محدودکننده های ابر رسانا از قبیل مقاومتی، سلفی و پل دیودی بر عملکرد نیروگاه بادی نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج شبیه سازیها نشان می دهد که محدود کننده سلفی و مقاومتی علاوه بر محدود سازی جریان خطا به طور موثری باعث کاهش نوسانات سرعت و گشتاور می گردند. ولی محدودکننده پل دیودی تأثیر منفی دارد. همچنین در میان این محدودسازها ابر رسانا نوع مقاومتی به دلیل اینکه انرژی تولیدی توسط نیروگاه بادی را تلف می کند به پایداری هر چه بیشتر نیروگاه بادی کمک کرده، لذا عملکرد بهتری نسبت به دیگر محدودسازها دارد.

6- مراجع

- [1]. J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, **Wind energy explained**, John Wiley, 2002.
- [2]. Z. Chen, J. M. Guerrero, and F. Blaabjerg, "A review of the state of the art of power electronics for wind turbines," IEEE Trans. Power Electron., vol. 24, no. 8, pp. 1859–1875, Aug. 2009.
- [3]. J.F. Conroy, R. Watson, "Low-voltage ride-through of a full converter wind turbine with permanent magnet generator," IET Renewable Power Generation, vol. 1, no. 3, pp. 182-189, 2007.
- [4]. A. H. Kasem, E. F. El-Saadany, and H. H. El-Tamaly, "An improve d fault-ride through strategy for doubly fed induction generator based wind turbines," IET RPG, vol. 2, no. 4, pp. 201–214, 2008.
- [5]. F. Mei, B. Pal, "Modal analysis of grid-connected doubly fed induction generators," IEEE Trans Energy Convers 2007;22(3):728–36
- [6]. H.-R. Kim, H.-S. Choi, H.-R. Lim, I.-S. Kim, and O.-B. Hyun, "Resistance of superconducting fault current limiters based on YBa₂Cu₃O₇ thin films after quench completion," Phys. C, Supercond., vol. 372–376, pp. 1606–1609, Aug. 2002.
- [7]. H. R. Kim, S. W. Yim, O. B. Hyun et al., "Analysis o n r ecovery characteristics of superconducting fault current limiters," in Proc. M T-20 Conf. Magn. Technol., Philadelphia, PA, Aug. 27–31, 2007.
- [8]. H. Yamaguchi and T. Kataoka, "Effect of magnetic saturation on the current limiting characteristics of transformer type superconducting fault current limiter," IEEE Trans. Applied Superconductivity, vol. 16, pp. 691–694, June 2006.
- [9]. T. Kataoka and H. Yamaguchi, "Comparativestudy of transformer-type superconducting fault current limiters considering magnetic saturation of iron core," IEEE Trans. Magnetics, vol. 42, pp. 3386–3388, October 2006.
- [10]. H. S. Ko, G. G. Yoon, and W. P. Hong, "Active use DFIG-based variable- speed wind-turbine for voltage control in power system operation," J. Elect. Eng. Technol., Vol. 3, No. 2, pp. 254–262, Jun. 2008.
- [11]. D. Gautam, V. Vittal, and T. Harbour, "Impact of increased penetration of DFIG-based wind turbine generators on transient and small signal stability of power systems," IEEE Trans. Power Syst., Vol. 24, No. 3, pp. 1426–1434, Aug. 2009.
- [12]. Lin Ye, K.P. Juengst, "Modeling and simulations of resistive type superconducting fault current limiter," IEEE Trans. Appl. Superconduct. 14 (June (2)) (2004) 839–842