



عنوان مقاله : کمینه کردن فلیکر ولتاژ در ژنراتورهای بادی با مبدل پشت به پشت با استفاده از کنترل کننده مد لغزشی در سمت ژنراتور

مجتبی کاظمی^۱، آرش کیومرثی^۲، جعفر سلطانی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر
Mojtabakazemi14@gmail.com

^۲ دکتر آرش کیومرثی، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان
kiyoumars@eng.ui.ac.ir

^۳ دکتر جعفر سلطانی، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر
jsoltani@iaukhsh.ac.ir

چکیده

با افزایش استفاده از توربین های بادی در شبکه های قدرت، بررسی کیفیت توان این شبکه ها امری جدی محسوب می شود، همچنین با توجه به متغیر بودن سرعت باد مطالعه فلیکر ولتاژ در توربین های بادی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. فلیکر علاوه بر ایجاد نارضایتی مصرف کننده به عنوان یک عامل محدود کننده برای یکپارچه سازی شبکه نیز تلقی می شود. عوامل زیادی در انتشار فلیکر در شبکه های شامل توربین های بادی وجود دارد که از جمله آنها به مشخصات باد (سرعت باد و جهت باد) می توان اشاره کرد. هدف این تحقیق کمینه کردن فلیکر ولتاژ در ژنراتورهای بادی با مبدل پشت به پشت با استفاده از کنترل کننده مد لغزشی در سمت ژنراتور می باشد. در این تحقیق نشان می دهیم با استفاده از کنترل کننده مد لغزشی در سمت جریان استاتور ژنراتور توربین بادی، فلیکر ولتاژ در سمت شبکه کاهش خواهد یافت. همچنین با انجام مقایسه بین کنترل کننده خطی (PI) و کنترل کننده غیر خطی (مد لغزشی) مشخص می گردد کنترل کننده غیر خطی در کاهش فلیکر ولتاژ سمت شبکه موثرتر خواهد بود.

کلمات کلیدی: توربین بادی - مبدل پشت به پشت - کنترل کننده خطی - کنترل کننده غیر خطی - فلیکر ولتاژ

۱. مقدمه

طی مدت زمان زیادی، سیستم های تبدیل انرژی باد با ژنراتور الکتریکی که به صورت مستقیم به شبکه قدرت متصل شده بودند، کاربرد زیادی داشته اند. در این سیستم ها، سرعت چرخشی توسط فرکانس شبکه تعیین می شود. علی رغم هزینه کم و قابلیت اطمینان بالا، این ساختارهای سرعت ثابت به سختی با تغییرات باد سازگار می شوند. از آنجا که ماکزیمم توان جذب شده در نسبت سرعت نوک بهینه بدست می آید، سیستمهای تبدیل انرژی باد سرعت ثابت تنها در یک سرعت باد خاص می توانند با بازده تبدیل بهینه کار کنند. در نتیجه به منظور بهتر استفاده کردن از توربین، سیستم های تبدیل انرژی باد سرعت متغیر پدید آمدند. این سیستم ها با ترکیب کانورترهای الکترونیکی بعنوان رابط بین ژنراتور و شبکه AC، سرعت چرخشی را از فرکانس شبکه مستقل کرده اند. علاوه بر این، کانورترهای الکترونیکی می توانند کنترل شوند و نقش منبع تولید توان راکتیو

و یا مصرف کننده توان راکتیو را طبق نیازهای سیستم قدرت ایفا کنند و با کنترل مناسب می توان اثر فلیکر ولتاژ سمت شبکه، در اثر نوسانات باد را کاهش داد.

۲. روابط حاکم بر مسئله و شبیه سازی

اگر چه توربین های بادی سرعت متغیر عملکرد خوبی نسبت به انتشار فلیکر دارند ولی کاهش فلیکر به علت افزایش قدرت باد در شبکه الزامی است. توربین های بادی سرعت متغیر مغناطیس دائم قادر به کنترل توان راکتیو در نقطه اتصال به شبکه هستند.

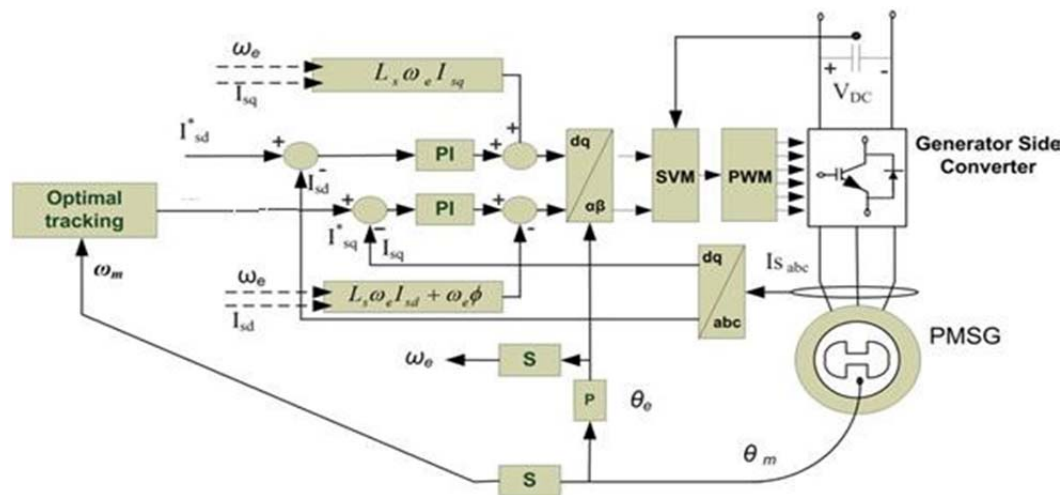
۱-۲. مشخصات کلی

کنترل کانورتر طرف ژنراتور برای کنترل سرعت شافت توربین بادی برای ماکزیمم کردن توان خروجی استفاده میشود. در یک سیستم مبدل سرعت متغیر انرژی باد، ماکزیمم قدرت در سرعت های مختلف باد به ضریب قدرت C_p وابسته است. متاسفانه برای توربین های بادی، C_p ثابت نیست. پارامترهای تاثیرگذار بر روی ضریب C_p عبارتند از:

- سرعت نوک پره λ
- زاویه چرخش پره β

برای حصول ماکزیمم قدرت تولیدی (P_{max}) از توربین بادی، توربین باید در C_{Pmax} عمل کند، از اینرو باید سرعت روتور ژنراتور را در W_m برای رسیدن به مقدار بهینه سرعت نوک پره (λ_{opt}) نگه داشت. اگر سرعت باد تغییر کند، سرعت روتور بایستی با تغییرات سرعت باد تنظیم شود، [1]، کنترل سرعت ژنراتور به طور معمول از طرف کانورتر طرف ژنراتور صورت می گیرد. از اینرو کنترل طرف ژنراتور به ژنراتور اجازه میدهد که بر اساس تغییر سرعت باد چرخش را تنظیم کند. [2] بر اساس رابطه (۱)، سرعت چرخش ژنراتور با گشتاور الکترومغناطیسی فرمان میگیرد، و از اینرو کنترل سرعت به وسیله کنترل گشتاور ژنراتور تعیین میشود. از رابطه (۶) گشتاور الکترومغناطیسی ممکن است به طور مستقیم توسط جریان مولفه محور q کنترل شود (I_{sq})، از اینرو سرعت میتواند توسط تغییر جریان مولفه محور q کنترل شود. جریان مولفه محور d (I_{sd})، برای کم کردن جریان گشتاور داده شده و بنابراین برای کم کردن تلفات مقاومتی، در صفر تنظیم میشود. [3] مولفه های ولتاژ استاتور، V_{sd} و V_{sq} بوسیله کانورتر طرف ژنراتور ساخته شده، که میتواند برای فرمان به مولفه های جریان ژنراتور I_{sd} و I_{sq} که در رابطه (۲) و (۳) نشان داده شده است، به کار گرفته شود. بنابراین کنترلر، احتیاج به یک فیدبک از مولفه های جریان استاتور ژنراتور دارد. خطای بین جریان اندازه گیری شده و مرجع به ورودی دو کنترلر PI برده می شود. [5] سپس قسمت جبرانگر را همانطور که در رابطه (۲) و (۳) می بینیم به آن اضافه می کنیم. سپس ولتاژ خروجی به ورودی مدولاسیون پهنای پالس برای ساختن سیگنال سوئیچ زنی داده می شود. شکل (۱) شمای کلی از کنترل طرف ژنراتور را نشان می دهد. [4]

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_m - T_e - B\omega_m \quad (1)$$



شکل ۱: بلوک دیاگرام مبدل طرف ژنراتور با کنترل کننده PI

۲-۲. کاهش فلیکر ولتاژ با کنترل جریان های سمت ژنراتور توسط کنترل کننده غیر خطی مد لغزشی

در این روش که در واقع هدف اصلی این تحقیق می باشد، با قرار دادن کنترلر مد لغزشی در سمت ژنراتور و کنترل جریان های استاتور کاهش فلیکر ولتاژ را در سمت شبکه بررسی خواهیم نمود. بدین منظور در شکل (۱) به جای کنترل کننده های PI از کنترل کننده های مد لغزشی استفاده می کنیم. روابط مربوط به طراحی کنترل کننده مد لغزشی در ادامه تشریح شده است.

۲-۳. معادلات ماشین مغناطیس دائم

معادلات ژنراتور مغناطیس دائم (PMSG) در دستگاه دو محوری d-q در فریم سنکرون به صورت زیر است:

$$V_d = -R_s I_d - \frac{d}{dt} \varphi_d + \omega_r \varphi_q \quad (۲)$$

$$V_q = -R_s I_q - \frac{d}{dt} \varphi_q + \omega_r \varphi_d \quad (۳)$$

$$\varphi_d = L_d I_d + \varphi \quad (۴)$$

$$\varphi_q = L_q I_q \quad (۵)$$

معادله گشتاور الکترومغناطیسی نیز بصورت زیر خواهد بود :

$$T_e = \frac{3}{2} P [(L_d - L_q) I_d I_q + I_q \varphi] \quad (۶)$$

معادلات کنترل جریان محور d در مود لغزشی

$$e_d = I_{dref} - I_d \quad (7)$$

$$S(I_d) = I_{dref} - I_d \quad (8)$$

$$\dot{S}(I_d) = \dot{I}_{dref} - \dot{I}_d \quad (9)$$

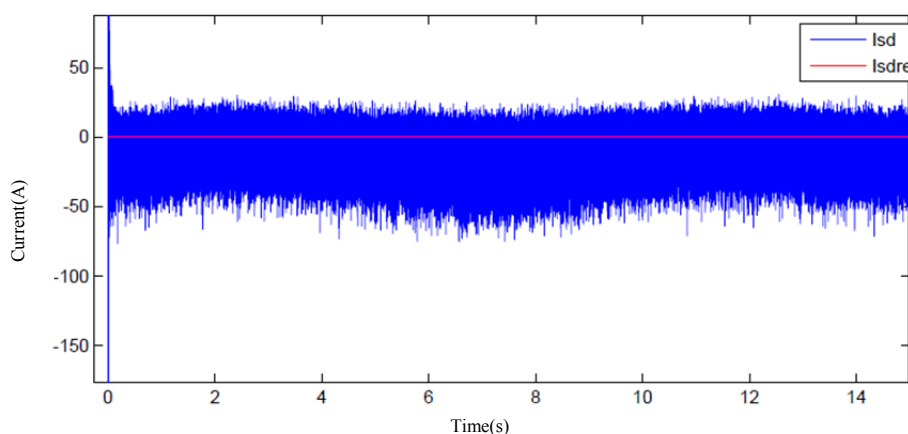
$$V_{dref} = V_d^{eq} + V_d^n \quad (10)$$

$$V_d^n = K_d \operatorname{sgn}(s(I_d)) \quad (11)$$

$$\dot{S}(i_d) = \dot{I}_{dref} + \frac{R_s}{L_d} I_d - P \omega_r \frac{L_q}{L_d} I_q - \frac{1}{L_d} V_d \quad (12)$$

$$V_d^{eq} = \left(\dot{I}_{dref} + \frac{R_s}{L_d} I_d - P \omega_r \frac{L_q}{L_d} I_q \right) L_d \quad (13)$$

در شکل شماره (۲) نمودار Id استاتور ژنراتور در حالت کنترل مد لغزشی مورد بررسی قرار گرفته است ، همانطور که قبلا اشاره شد مقدار Id در صفر نگه داشته شده است.



شکل ۲: جریان Id سمت ژنراتور با کنترلر PI سمت ژنراتور

معادلات کنترل جریان محور q در مود لغزشی

$$e_q = I_{qref} - I_q \quad (14)$$

$$S(I_q) = I_{dref} - I_q \quad (15)$$

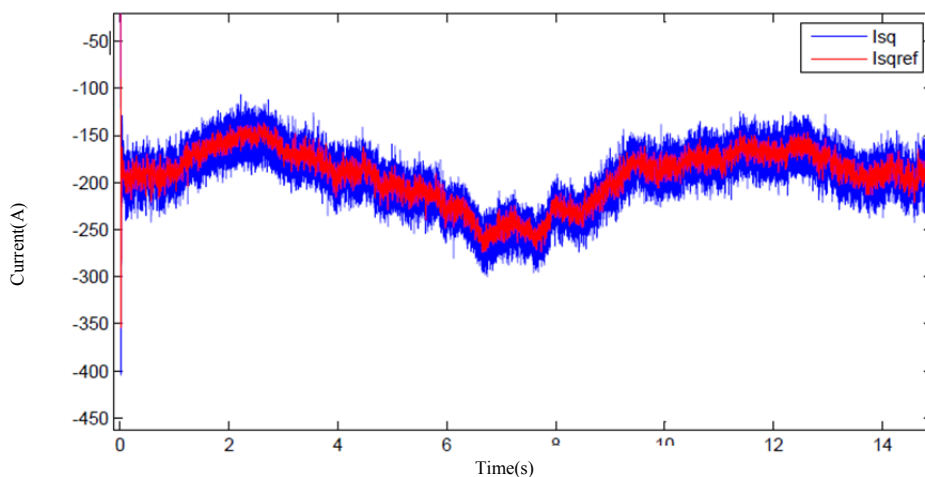
$$\dot{S}(I_q) = \dot{I}_{qref} - \dot{I}_q \quad (16)$$

$$V_{qref} = V_q^{eq} + V_q^n \quad (17)$$

$$V_q^{eq} = \left(\dot{I}_{qref} + \frac{R_s}{L_q} I_q + P \omega_r \frac{L_d}{L_q} I_d + P \omega_r \frac{\varphi}{L_q} \right) L_q \quad (18)$$

$$V_q^n = K_q \operatorname{sgn}(s(I_q)) \quad (19)$$

در شکل شماره (۳) نمودار Iq استاتور ژنراتور در حالت کنترل مد لغزشی مورد بررسی قرار گرفته است ، همانطور که قبلا اشاره شد مقدار Iq ضریبی از گشتاور است.



شکل ۳: جریان Iq سمت ژنراتور با کنترلر PI سمت ژنراتور

۲-۴. مبانی فلیکرمتر IEC

از عوامل مهم و تعیین کننده در شدت نوسان ولتاژ، حساسیت چشم انسان نسبت به دامنه و فرکانس تغییرات نور می باشد. روش اندازه گیری فلیکر را می توان بر مبنای احساس انسان از نوسانات نور لامپ بنا نمود در واقع فلیکرمتر معیاری از شدت فلیکر ایجاد شده توسط نوسانات ولتاژ اعمال شده به یک لامپ را ارائه می نماید.

نوسانات قدرت راکتیو و اکتیو که در توربین بادی تولید می شود باعث نوسانات ولتاژ و فلیکر در سمت شبکه می گردد. سطح فلیکر به طور معمول براساس استاندارد IEC66100-4-15 اندازه گیری می شود. [56]

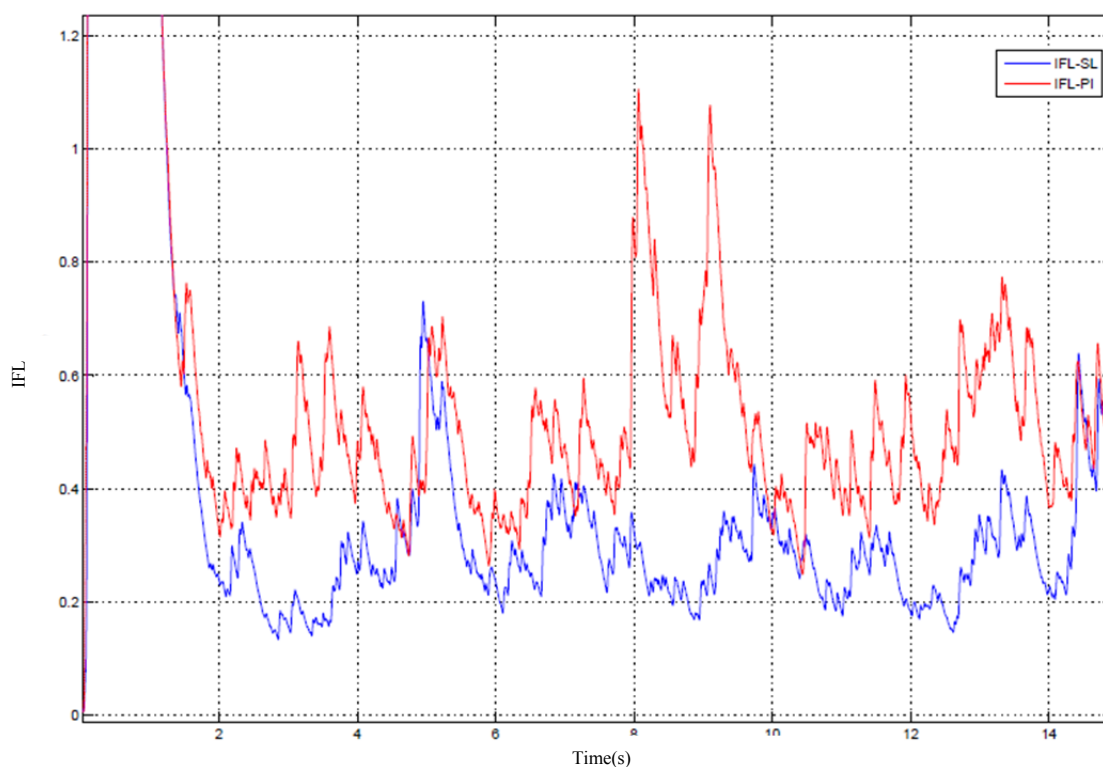
مبنای محاسبه فلیکر توسط فلیکرمتر IEC بر این اساس استوار است که مقدار فلیکر در شکل موج ورودی بر حسب کمیتی متناسب با شدت فلیکر بیان گردد به این ترتیب مقدار کمیت مورد نظر در هر لحظه بیانگر وضعیت فلیکر موجود در سیگنال ورودی است و نشان دهنده شدت و ضعف میزان فلیکر می باشد. این کمیت سطح لحظه ای فلیکر (IFL) نام دارد و در هر لحظه معرف مقدار لحظه ای فلیکر است.

همچنین کمیت دیگری برای سنجش دقیق تر فلیکر مطابق استاندارد IEC66100-4-15 به صورت زیر تعریف می گردد.

شاخص کوتاه مدت شدت فلیکر (Pst) : به شاخص شدت فلیکر در یک بازه زمانی کوتاه مدت (ده دقیقه) گفته می شود، که $Pst=1$ آستانه آزادهی چشم انسان است. این معیار از سری های زمانی بدست آمده از فلیکرمتر در مدت ۱۰ دقیقه استخراج می گردد.

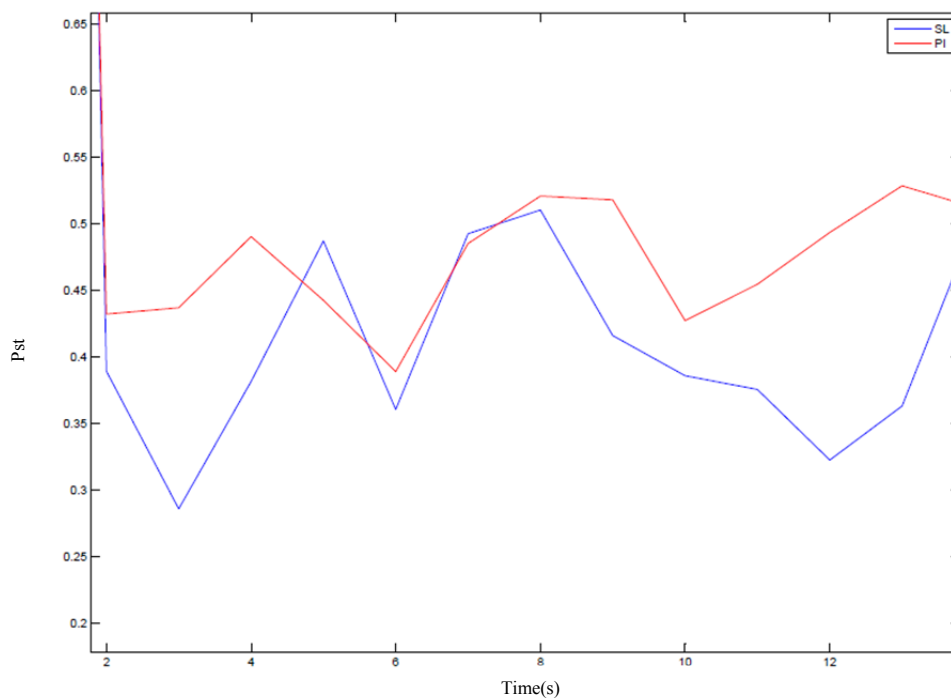
۵-۲. نتایج و بحث روی نتایج

با شبیه سازی کنترل کننده های جریان سمت ژنراتور در حالت کنترلر PI و در حالت استفاده از کنترل کننده مد لغزشی شاخص های سنجش فلیکر (IFL و Pst) بر روی ولتاژ سمت شبکه (در نقطه اتصال ژنراتور به شبکه) محاسبه و در منحنی های زیر قابل مشاهده هستند.



شکل ۴: مقایسه منحنی مقدار لحظه ای فلیکر (IFL) با کنترلر PI و مد لغزشی در سمت ژنراتور

در شکل شماره (۴) مقدار لحظه ای فلیکر (IFL) در حالت استفاده از کنترل کننده خطی PI و در حالت استفاده از کنترل کننده غیر خطی مد لغزشی در سمت ژنراتور ترسیم شده است. همانگونه که در شکل مشاهده می شود منحنی قرمز رنگ (کنترل جریان در حالت PI) نسبت به منحنی آبی رنگ (کنترل جریان در حالت مد لغزشی) مقادیر بیشتری دارد.



شکل ۵: مقایسه منحنی شدت فلیکر لحظه ای (Pst) با کنترلر PI و مد لغزشی در سمت ژنراتور

در شکل شماره (۵) مقدار شدت فلیکر لحظه ای (Pst) در حالت استفاده از کنترل کننده خطی PI و در حالت استفاده از کنترل کننده غیر خطی مد لغزشی در سمت ژنراتور ترسیم شده است. همانگونه که در شکل مشاهده می شود منحنی قرمز رنگ (کنترل جریان در حالت PI) نسبت به منحنی آبی رنگ (کنترل جریان در حالت مد لغزشی) مقادیر بیشتری دارد.

۳. نتیجه گیری

با توجه به نتایج شبیه سازی و منحنی های ترسیم شده مشاهده گردید در حالتی که برای کنترل جریان سمت ژنراتور از کنترل کننده غیر خطی مد لغزشی استفاده گردد نسبت به حالتی که از کنترل کننده خطی PI استفاده گردد، فلیکر ولتاژ در سمت شبکه کمتر خواهد بود.

مراجع

1. Haque ME, Negnevistsky M, Muttaaqi KM. "A naval control strategy for avariable speed wind turbine with a permanent magnet synchronous generator". s.l. : IEEETrans Ind Applic, 2010;46(1).
2. Qiao W, Qu L, Harely RG. "Control of IPM synchronous generator for maximumwind power generation considering magnetic saturation". s.l. : IEEE Trans Ind Applic,2009;45(3).
3. Chinchilia M, Arnaltes S, Burgos J. "Control of permanent-magnet generatorapplied to variable-speed wind-energy systems connected to the grid". s.l. : IEEE TransEnergy Convers, 2006;21(1).
4. Ali H. Kasem Alaboudy, Ahmed A. Daoud, Sobhy S. Desouky, Ahmed A.Salem. "Converter controls and flicker study of PMSG-based grid connected windturbines". s.l. : Ain Shams Engineering Journal, Received 14 December 2011; revised 26April 2012; accepted 11 June 2012.
5. IEC61000-4-15. *Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 4:testing andmeasurements techniques – Section 15: Flickermeter functional and design specifications*.November 1997.

Voltage flicker mitigation by nonlinear control of variable speed wind turbines with full-scale back-to-back power converters

Mojtaba kazemi

Department of Electrical, Faculty of Engineering, University of Islamic Azad
University of Khomeynishahr, Address, Iran, E-mail:
mojtabakazemi14@gmail.com

Arash kiyoumars

Department of Electrical, Faculty of Engineering, University of Isfahan,
Address, Iran, E-mail: kiyoumars@eng.ui.ac.ir

Jafar soltani

Department of Electrical, Faculty of Engineering, University of Islamic Azad
University of Khomeynishahr, Address, Iran, E-mail:
jsoltani@iaukhsh.ac.ir

Abstract. With the increased use of wind turbines in the power grids, power quality study these networks is considered a serious thing. Flicker distribution networks include many factors that are wind turbines, including wind profile (wind speed and wind direction). In this study, we show that using non-linear controller in the wind turbine generator stator voltage flicker on the network will be reduced. It also carried out a comparison between the controllers, linear and non-linear controller is determined non-linear controller network will be more effective in reducing the voltage flicker

Keywords: back-to-back power converters, linear controller, non-linear controller, voltage flicker