کنفرانس ملی فناوری های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر



وزش عالی جهاد دانشگاهی

۲۷ دی ۱۳۹۶

کنترل برداری بدونسنسور ژنراتور از دو سو تغذیه با رویتگر RCMO در شرایط افت ولتاژ نامتعادل شبکه

عبدالمجیدحسنی (نویسنده مسئول)، استادیار، پژوهشکده تکنولوژی تولید جهاد دانشگاهی

رضا کیانی نژاد، دانشیار، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیدہ

در این مقاله برای ژنراتور القایی از دو سو تغذیه، یک کنترل کننده ی بدون سنسور طراحی شده است. این طراحی در شرایط نامتعادلی ولتاژ شبکه انجام شده و بجای اندازه گیری سرعت و زاویه روتور از تخمین آنها با RCMO استفاده شده است. ولتاژ نامتعادل شبکه، باعث ایجاد مولفه منفی ولتاژ و جریان DFIG می شود. توالیهای مثبت و منفی مدل DFIG در چارچوب مرجع سنکرون در نظر گرفته شده است و دنباله روی توان مرجع اکتیو و مثبت و منفی مدل DFIG در چارچوب مرجع سنکرون در نظر گرفته شده است و دنباله روی توان مرجع اکتیو و مراکتیو DFIG در چارچوب مرجع سنکرون در نظر گرفته شده است و دنباله روی توان مرجع اکتیو و مرجع تحقیق شده است. در این مقاله هدف سیستم کنترلی، حذف نوسانهای جریان روتور می باشد. بدین منظور مرجع تحقیق شده است. در این مقاله هدف سیستم کنترلی، حذف نوسانهای جریان روتور می باشد. بدین منظور که بتواند کنترل کننده در چارچوب مرجع استاتور 4 مرای هر یک از مولفه های مثبت و منفی در نظر گرفته شده است و دنباله روی توان تولیدی از مرجع تحقیق شده است. در این مقاله هدف سیستم کنترلی، حذف نوسانهای جریان روتور می باشد. بدین منظور که بتواند کنترل دقیق و صحیحی بر روی مولفه های جریان روتور (مولفه مثبت و منفی در نظر گرفته شده است و منفی در نظر گرفته شده است. در این مقاله هدف سیستم کنترلی، حذف نوسانهای جریان روتور می از گرفته شده است مرجع تحقیق و صحیحی بر روی مولفه های جریان روتور (مولفه مثبت و منفی) ایجاد کند. برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، شبیه سازی بر روی یک سیستم DFIG، DFIG در محیط نرم افزار برداری بدون سنسور پیشنهادی با وجود نامتعادلی ولتاژ شبکه، بخوبی سرعت و موقعیت روتور را تخمین زده و بعلاوه همچون کنترل با سنسور، توانهای مورد نیاز شبکه، بخوبی سرعت و موقعیت روتور را تخمین زده و بعلاوه همچون کنترل با سنسور، توانهای مورد نیاز شبکه، بخوبی سرعت و موقعیت روتور را خرم درم و در و در و در و و برد و برد را به مین در و و برد بیاز شبکه و ایز تامین می کند.

کلیدواژهها: کنترل برداری؛ بدونسنسور؛ توان اکتیو و راکتیو؛ DFIG ؛ RCMO،

¹ Rotor-current-based MRAS observer

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری





بوسسه آموز ش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان

1- مقدمه

به در سالهای اخیر ظرفیت نیروگاه های بادی نصب شده رشد روز افزونی داشته و باعث افزایش تولید انرژی الکتریکی از باد شده است. ژنراتورهای به کار رفته در نیروگاههای بادی عبارتند از: القایی (شامل: القایی قفس سنجابی و القایی از دوسو تغذیه) و سنکرون (شامل: سنکرون مغناطیس دایم و سنکرون با تحریک روتور)[1] . ژنراتور القایی از دوسو تغذیه، DFIG، بدلیل مزایای فراوان آن، پرکاربردترین ژنراتور بادی شده است. از مزایای آن میتوان به انعطاف پذیری (سرعت متغیر با فرکانس ثابت بهره-برداری)، کوچکتر بودن مبدل (در حدود30% توان ژنراتور)، مقاوم بودن در برابر تغییر پارامترها، مشخصه PQ چهار ناحیهای، قیمت کمتر و تلفات پایینتر اشاره کرد. اما علی رغم نفوذ زیاد DFIG در شبکه های الکتریکی، هنوز هم مشکلات زیادی از قیمی پایداری و کیفیت توان شبکه، قابلیت غلبه بر افت ولتاژ و اتصال کوتاه و عدم تعادل فازها، کارکرد بدون سنسور و MPPT

روشهای کنترل DFIG را میتوان به دو گروه تقسیم کرد: باسنسور و بدونسنسور. الگوریتمهای کنترل DFIG به کمیتهای سرعت و موقعیت روتور نیاز دارد. روشهای باسنسور، سرعت و موقعیت روتور را با اندازه گیری بدست آورده و به سیستم کنترل اعمال میکنند [2،3].

سنسورهای موقعیت و سرعت دارای معایبی هستند از قبیل نیاز به تعمیر و نگهداری ، قیمت بالا ، آسیب پذیری کابل ارتباطی بین سنسور و تابلوی کنترل؛ لذا کنترل برداری بدون استفاده از سنسور رواج پیدا کرده است. مقالههای مربوط به روشهای کنترلی بدونسنسور سه دستهاند[4]: الف) روشهای بدونسنسور حلقه باز ب) روشهای مبتنی بر MRAS ج) روشهای بدون-سنسور دیگر (از قبیل PLL). [9-5] با روش بدونسنسور حلقه باز موقعیت روتور با استفاده از مقایسه جریان تخمینی روتور با جریان اندازه گیری آن بدست میآید. روش حلقه باز فقط بر اساس تخمین جریان روتور بنا نشده، بلکه در [10] رویتگری بر اساس ^m پیشنهاد شده همچنین در [11]، رویتگری بر اساس شار روتور پیشنهاد گردیده است که عیب این روش آن است که سرعت روتور از مشتق گیری ^{glag} تخمینی بدست میآید، لذا نویز فرکانس بالا میتواند تقویت شود. [21] اولین مقاله ای است که روش MRAS را برای کنترل بدون سنسور ماشین القایی قفس سنجابی مطرح کرد. در این مقاله، طراحی رویتگربحث شده و یک مدل سیگنال کوچک نیز پیشنهاد شده است.

[13-14] اولین مقالاتی است که MRAS را برای کنترل کننده بدونسنسور DFIG بکار بردهاند؛ ولی در مورد دینامیک رویتگر، پروسه طراحی کنترل کننده، دقت تخمین بدونسنسور، و حساسیت به تغییر پارامترهای ماشین ذکری به میان نیاورده است. متغیر تخمینی در [15] عبارتست از شار استاتور. در این مقاله مدل سیگنال کوچک ، حساسیت به تغییر پارامترهای ماشین ذکری به میان نیاورده است. متغیر تخمینی در [15] عبارتست از شار استاتور. در این مقاله مدل سیگنال کوچک ، حساسیت به تغییر پارامترهای ماشین ذکری به میان نیاورده است. متغیر تخمینی در [15] عبارتست از شار استاتور. در این مقاله مدل سیگنال کوچک ، حساسیت به تغییر پارامترهای ماشین، و مورد نیاز کاملا ماشین، و همچنین پروسه طراحی یک رویتگر MRAS ارئه شده است. در این مقاله جریان مغناطیس کننده ی مورد نیاز کاملا از طرف شبکه تامین میشود؛ لذا رویتگر پیشنهادی، سرعت روتور را بخوبی تخمین نمیزند.

در [16:17] یک رویتگر MRAS بر اساس جریان روتور (RCMO) پیشنهاد شده است که هم برای حالت جزیره ای و هم برای حالت متصل به شبکه قابل اعمال است. مزیت RCMO بر دیگر رویتگرهای MRAS این است که آن را میتوان برای کنترل DFIG متصل به شبکه بکار برد. بعبارتی دیگر از آنجا که جریان مغناطیس کننده کاملا از استاتور تامین میشود اگر $i_{r0} = 0$ باشد چون i_{r0} مخالف صفر است که برای سیستم ناپایدار نمیشود. مزیت دیگر RCMO آن است که برای سنکرون کردن DFIG با شبکه مناسب است.

² Maximum power point tracking





[18·19] روش جدیدی ارایه کرده است که ⁱr را با رویتگر MRAS بر پایه گشتاور بدست آورده است (TBMO3). در [21،20] کنترل بدونسنسور PLL پیشنهاد شده ولی تست عملی نشده است.



شکل1 نیروگاه بادی DFIG متصل به شبکه

این مقاله در پنج بخش تنظیم شده است: در بخش دوم مدل DFIG تشریح می شود. بخش سوم معادلات کنترل ماشین در حالت متعادل و نامتعادل بیان می کند. بخش چهارم روش پیشنهادی در تخمین سرعت و موقعیت روتور را ارایه می دهد. در بخش پنجم، شبیه سازی و نتایج آن نشان داده شده است. سرانجام در بخش ششم، نتیجه گیری و پیشنهادات ارایه گردیده است.

2- مدل دینامیکیDFIG

مدار معادل DFIG را میتوان در چارچوب مرجعهای مختلفی مثل چارچوب مرجع ثابت، چارچوب مرجع روتور یا چارچوب مرجع سنکرون تعریف کرد. این چارچوب مرجع میتواند بر روی ولتاژ استاتور یا شار استاتور قرارگیرد. مدار معادل DFIG در چارچوب مرجع دلخواه که با سرعت ۵ میچرخد در شکل 2 نشان داده شده است[23].

³ Torque-based MRAS observer.

کنفرانس ملی فناوری های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر



F در چارچوب مرجع جدید را با جایگزینی a_{α} به جای u در روابط(2)، (3) و (5) بدست آورد. شکل 3 نمودار برداری متغیر V_s را نشان میدهد. F میتواند معرف ولتاژ، جریان یا شار در یکی از چارچوب مرجع های زیر باشد: (dq) شار استاتور، $\beta \alpha$ استاتور و $a_r \beta_r$ روتور.



کنفرانس ملی فناوری های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر



$$\begin{aligned} \begin{array}{c} \left\{ \begin{array}{c} \left\{ I_{re}^{n} \right\} & \left\{ I_{re}^{n} \right$$

با فرض اینکه مولفه های توالی صفر وجود نداشته باشد. مقادیر سه فاز شبکه مثل ولتاژ، جریان و شار شبکه در شرایط نا متعادلی به دو مولفه توالی مثبت و منفی تجزیه میشود. همچون مقاله [12] ولتاژ، جریان و شار در چارچوب مرجع ثابت (۵۵) را میتوان به مولفه های توالی مثبت و منفی زیر تجزیه کرد:

$$F_{\alpha\beta}(t) = F_{\alpha\beta+}(t) + F_{\alpha\beta-}(t) \quad (11)$$
$$= |F_{\alpha\beta+}| \cdot e^{j(\omega_s t + \varphi_+)} + ||F_{\alpha\beta-}| \cdot e^{-j(\omega_s t + \varphi_-)}$$

وز ارت علوم، تحقیقات و فناوری



وسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان



۲۷ دی ۱۳۹۶

که $_{+}\varphi$ و $_{-}\varphi$ شیفت فاز مربوط به مولفه های مثبت و منفی است. همانطور که در شکل 4 نشان داده شده است در چارچوب مرجع مثبت $_{+}dq$ محور $_{+}b$ بر روی شار مثبت استاتور قرار گرفته که با سرعت $_{-}\omega$ می چرخد در حالی که برای چارچوب مرجع $_{-}dq$ ، محور $_{-}b$ با سرعت زاویه ای $_{-}\omega$ میچرخد و زاویه فاز آن نسبت به محور ۵ عبارت است از $_{-}\theta$.

 $\begin{cases} I = F_{dq} \cdot e^{-j\omega_{s}t} \\ (dq)^{-} & g \cdot (dq)^{+} \cdot (\alpha\beta) \cdot e^{-j\omega_{s}t} \\ (dq)^{-} & g \cdot (dq)^{+} \cdot (\alpha\beta) \cdot e^{-j\omega_{s}t} \\ (dq)^{-} & g \cdot (dq)^{+} \cdot (\alpha\beta) \cdot e^{-j\omega_{s}t} \\ F_{dq}^{+} & = F_{a\beta} \cdot e^{-j\omega_{s}t} \\ F_{dq}^{-} & = F_{a\beta}^{-} \cdot e^{-j\omega_{s}t} \\ F_{dq}^{-} & = F_{dq}^{-} \cdot e^{-j\omega_{s}t} \\ F_{dq}^{-} & = F_{dq}^{-} \cdot e^{-j\omega_{s}t} \\ F_{dq}^{-} & = F_{dq}^{-} \cdot e^{-j\omega_{s}t} \\ \end{cases}$ (12b)

شبیه به مبدل های متصل به شبکه [14]، رابطه (8) را در شبکه نامتعادل می توان به دو مؤلفه dq^+ و dq^- چرخان با سرعت u_q و u_q و u_q و u_q و u_q اسرعت u_q

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{rd+}^{+} \\ I_{rq+}^{+} \end{bmatrix} = [A_{+}] \begin{bmatrix} I_{rd+}^{+} \\ I_{rq+}^{+} \end{bmatrix} \quad (13a)$$

$$+ \frac{L_{m}\omega_{slip+}}{\sigma L_{r}L_{s}} \begin{bmatrix} \psi_{sq+}^{+} \\ -\psi_{sd+}^{+} \end{bmatrix} + \frac{1}{\sigma L_{r}} \begin{bmatrix} V_{rd+}^{+} \\ V_{rq+}^{+} \end{bmatrix} \quad (13b)$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{rd-}^{-} \\ I_{rq-}^{-} \end{bmatrix} = [A_{-}] \begin{bmatrix} I_{rd-}^{-} \\ I_{rq-}^{-} \end{bmatrix} \quad (13b)$$

$$+ \frac{L_{m}\omega_{slip-}}{\sigma L_{r}L_{s}} \begin{bmatrix} \psi_{sq-}^{-} \\ -\psi_{sd-}^{-} \end{bmatrix} + \frac{1}{\sigma L_{r}} \begin{bmatrix} V_{rd-}^{-} \\ V_{rq-}^{-} \end{bmatrix}$$

$$[A_{-}] = \begin{bmatrix} -R_{r}/(\sigma L_{r}) & \omega_{slip-} \\ -\omega_{slip-} & -R_{r}/(\sigma L_{r}) \end{bmatrix} \quad [A_{+}] = \begin{bmatrix} -R_{r}/(\sigma L_{r}) & \omega_{slip+} \\ -\omega_{slip+} & -R_{r}/(\sigma L_{r}) \end{bmatrix} \leq$$





$$\begin{cases} F_{zeg}^{L} = F_{zeg,+}^{L} + F_{zeg,-}^{L} \\ = F_{zeg,+}^{L} + F_{zeg,-}^{L} e^{-2\theta_{zeg,+}} \\ F_{zeg,-}^{L} + F_{zeg,-}^{L} e^{-2\theta_{zeg,+}} \end{cases} (14) \\ F_{zeg,-}^{L} + F_{zeg,-}^{L} e^{-2\theta_{zeg,+}} \\ = F_{zeg,+}^{L} + F_{zeg,-} e^{-2\theta_{zeg,+}} \\ = F_{zeg,+}^{L} + F_{zeg,-} e^{-2\theta_{zeg,+}} \\ = 0 \quad (15) \\ = \frac{1}{4\pi} (\Psi_{zeg,+}^{L} + \Theta_{zeg,-}^{L} - 0) \quad (15) \\ = \frac{1}{4\pi} (\Psi_{zeg,+}^{L} + \Psi_{zeg,-}^{L} - 0) \\ = \frac{1}{4\pi} (\Psi_{zeg,+}^{L} + U_{zeg,-}^{L} + 0) \\ = \frac{1}{4\pi} (\Psi_{zeg,+}^{L} + \Psi_{zeg,-}^{L} + 0) \\ = \frac{1}{4\pi} (\Psi_{zeg,+}^{L} + \Psi_{zeg,-}^{L} + 0) \\ = \frac{1}{4\pi} (\Psi_{zeg,+}^{L} + \Psi_{zeg,+}^{L} + \Psi_{zeg,-}^{L} + 0) \\ = \frac{1}{4\pi} (\Psi_{zeg,+}^{L} + \Psi_{zeg,+}^{L} + 0) \\ = \frac{1}{4\pi} (\Psi_{zeg,+}^{L} + 0) \\ = \frac{1}{4\pi} (\Psi_{z$$



کنفرانس ملی فناوری های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر



$$\begin{aligned}
& = \frac{1}{2} \int_{\mathbb{R}^{2}} \frac{1}{2} \int_{\mathbb{R}^{2}}$$

در شرایط ولتاژ نامتعادل شبکه، چهار مولفه جریان روتور وجود دارد که نیاز به کنترل دارد. یعنی ۲٫٬۰٬۱٬٬۰٬۱٬٬۰٬۱٬٬۰٬۱ که جدای از کنترل ۴٫٬۰٬۰ (توان متوسط اکتیو و رآکتیو استاتور) که در (19) و (20) نشان داده شده، بیش از دو پارامتر را میتوان کنترل کرد. برای مثال سیستم را میتوان طوری طراحی کرد که یکی از اهداف کنترلی زیر بدست آید[23]: www.SID.ir



مختلف

کنفرانس ملی فناوری های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر

وز ارت علوم، تحقیقات و فناوری

وسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان

۲۷ دی ۱۳۹۶

یکبار مرجع جریانهای مثبت و منفی تعیین میشود، سیستم کنترل به I_{rq}^{+} , I_{rq}^{+

	، توالی منفی مرجع استانور	جدول 1- جريان
	I,2-	Γ _α
هدف		
1	ψ_{m}^{-}/L_{m}	ψ_{zq-}^{-}/L_{m}
هدف	$\frac{2\psi_{ab}^{-}}{k} + k \cdot l^{+}$	$2\psi_{iq}^{-} = k \cdot l^{+} \cdot + k \cdot l^{+}$
2	In ndd yd i'r ngd yrg i	L _m ^{ngd2} 7d4 ⁱ ndd27g4
هدف 3	$k_{dd}I_{rd+}^{*} = k_{qd}I_{rq+}^{*}$	$k_{ad}I^+_{ad+} = k_{dd}I^+_{ad+}$
هدف		
4	0	0

جدول 1- جريان توالي منفي مرجع استاتور

 $k_{dd} = \psi_{sd}^{-} / \psi_{sd+}^{*}, k_{qd} = \psi_{sq-}^{-} / \psi_{sd+}^{*}$ که داریم: نمودار سیستم کنترل پیشنهادی در شکل 5 نشان داده شده است.

اگر در این حالت از مولفههای مثبت و منفی استفاده نشود بعبارتی فقط، معادله (13a) بتنهایی بکار گرفته شود شبیهسازی، واگرا شده و توان تولیدی DFIG بجای اینکه مرجع را دنبال کند بشدت نوسانی شده و سیستم ناپایدار می گردد. بهمین دلیل، در مقاله از توالی مثبت و منفی استفاده شده است.

$$\begin{bmatrix} V_{rd+}^+ \\ V_{rq+}^+ \end{bmatrix} = \sigma L_r \begin{bmatrix} U_{rd+}^+ \\ U_{rq+}^+ \end{bmatrix} - \sigma L_r \begin{bmatrix} I_{rd+}^+ \\ I_{rq+}^+ \end{bmatrix}$$
(24)



کنفرانس ملی فناوری های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر



$$\begin{bmatrix} V_{rd}^{-} \\ V_{rq-}^{-} \end{bmatrix} = \sigma L_{r} \begin{bmatrix} U_{rd-}^{-} \\ U_{rq-}^{-} \end{bmatrix} - \sigma L_{r} \begin{bmatrix} A_{-} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{rd-}^{-} \\ I_{rq-}^{-} \end{bmatrix}$$
(25)
$$- \omega_{slip} - \frac{L_{m}}{L_{s}} \begin{bmatrix} \psi_{sq-}^{-} \\ -\psi_{sd-}^{-} \end{bmatrix}$$

که چهار ورودی کمکی شبیه به معادله (21) که برای حالت متعادل طراحی میشود. پس ولتاژ کنترل روتور تبدیل میشود: $V_{ra_r\beta_r} = V_{rdq_+}^{+} \cdot e^{j(\theta_s - \theta_r)}$ (32) $+ V_{rdq_-}^{-\theta_r - \theta_r}$.

تخمین سرعت و موقعیت روتور با RCMO در این مقاله یک رویتگر MARS که بر پایه جریان روتور طراحی شده، سرعت و موقعیت روتور DFIG را تخمین میزند. کنترل DFIG با استفاده از \hat{w}_r و \hat{q}_r تخمینی صورت می گیرد. در روش پیشنهادی، متغیر مدل مرجع، جریان اندازه گیری شده روتور i_r است و متغیر مدل تطبیقی، جریان تخمینی روتور \hat{i}_r است که از ولتاژ و جریان استاتور بدست می آید. شکل6 نمودار RCMO را نشان میدهد.



شكل 6-نمودار RCMO

: در این شکل مدل تطبیقی و مدل مرجع با نقطه چین نشان داده شده است. شار استاتور در چار چوب ایستا (s) عبارت است از $I_s = L_s i_s + L_m i_r e^{jq_r}$ (27)



بوسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان

وزارت علوم، تحقيقات و فناورى

۲۷ دی ۱۳۹۶

جريان روتور را ميتوان از عبارت (27) بدست آورد:

$$i_{r} = \frac{I_{x} - L_{i}i_{x}}{L_{m}} e^{-jh}$$
 (28)
 $i_{r} = \frac{I_{x} - L_{i}i_{x}}{L_{m}} e^{-jh}$ (28)
 $i_{r} = \frac{I_{x} - L_{i}i_{x}}{L_{m}} e^{-jh}$ (29)
 $i_{r} = \frac{I_{x} - L_{i}i_{x}}{L_{m}} e^{-jh}$ (30)
RCMO (30)
RCMO (30)
RCMO $i_{r} = 0$ $i_{r} = 10$ $i_{r} = 1$

5- شبيەسازى كامپيوترى

در این بخش، نیروگاه بادی DFIG متصل به شبکه را برای دو حالت، مطالعه میکنیم و صحت عملکرد مجموعه نیروگاه و مدار کنترلی را ارزیابی مینماییم. فرض بر آن است که ولتاژ شبکه نامتعادل است و از کنترل برداری برای کنترل RSC استفاده شده است. در این مقاله کنترل GSC مد نظر نیست. برای شبیه سازی از نرم افزار MATLAB/Simulink استفاده می شود. مقدار پارامترهای DFIG مطابق جدول2 می باشد [23].

	, (O
2MW	توان نامی
50 HZ / 690 V	ولتاژ استاتور <i>ا</i> فركانس نامى
0.0108 PU	مقاومت استاتور

جدول 2- يارمترهاي DFIG



۲۷ دی ۱۳۹۶

مقاومت روتور	0.0121 PU
اندوكتانس مغناطيس كننده	3.362 PU
اندوكتانس نشتي استاتور / روتور	0/11PU /0/102PU
نسبت دور استاتوربه روتور	0/333
ثابت اینرسی	0/5 S

1-5 کنترل برداری باسنسور

در این حالت با در نظر گرفتن افت ولتاژ نامتعادل 2% در نقطه PCC، توان اکتیو و رآکتیو مرجع را تغییر و دنبالهروی توان استاتور از آن را تحقیق می ماییم. در این بخش ، جریانها و ولتاژهای استاتور و روتور بدلیل افت ولتاژ نامتعادل به مولفههای مثبت و منفی تجزیه و از دو کنترل کننده توالی مثبت و منفی استفاده می شود. لذا به چهار کنترل کننده IP نیاز است. همچنین در این بخش سرعت و موقعیت روتور از اندازه گیری بدست می آید. سرعت روتور 1.1 پریونیت است یعنی با توجه باینکه سرعت سنکرون 314 رادیان بر ثانیه است سرعت روتور در حدود 346 رادیان بر ثانیه می باشد. توان اکتیو مرجع در ثانیه دوم از (A کیلووات به 1600 کیلووات و توان راکتیو مرجع در ثانیه 2.5 از 200 کیلووار به 600 کیلووار افزایش می یابد. شکل (A) مقادیر مرجع را بخوبی دنبال کرده و همچنین میزان نوسان آنها بسیار کم می باشد. پس الگوریتم پیشنهادی در شرایط افت ولتاژ نامتعادل با وجود سنسور بخوبی توانهای اکتیو و راکتیو و راکتیو DFIG را کنترل نموده است. در قسمت بعدی با اضافه نمودن الگوریتم نامتعادل با وجود سنسور بخوبی توانهای اکتیو و راکتیو DFIG را کنترل نموده است. در قسمت بعدی با اضافه نمودن الگوریتم تخمین سرعت DFIG در همین شرایط (شرایط افت ولتاژ نامتعادل) الگوریتم را برای کارکرد در شرایط به 200 کرد. در شرایط به 200 کرد و شرایم به 200 کرد در شرایط بدون سنسور نیز ارزیابی کرده ایم.

RCMO کنترل برداری بدون سنسور با 2-5

در این حالت سرعت و موقعیت روتور با رویتگر RCMO تخمین زده می شود. دیگر شرایط کنترل همچون قسمت (A) می-باشد. نتایج شبیه سازی در شکل (B) نمایش داده شده است.



۲۷ دی ۱۳۹۶

بوسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان

همانطور که در شکلهای (A) و (B) دیده میشود نمودارها، شباهت زیادی با هم دارند. در هر دو شکل فوق، شکل a، ولتاژ سه فاز استاتور را نشان میدهد. در این شکل، ولتاژ فاز a دارای افت ولتاژ 2% و ولتاژ فازهای b و c بدون افت است. شکل b جریان سه فاز استاتور را نشان میدهد نوسان جریان سه فاز، نامتعادل بوده و میزان آن بیش از 2% است.

شکل 7c جریان سه فاز روتور را نشان میدهد. همانطور که در این شکل دیده می شود عدم تعادل در جریان روتور تقریبا حذف می شود ولی با افزایش توان مرجع، جریان سه فاز روتور علاوه بر افزایش دامنه، جابجایی فاز نیز دارد تا بتواند توان تولیدی استاتور را تغییر دهد.

شکل 7d و 7c مولفه مثبت جریان روتور را در محورهای d و q نشان میدهد. همانطور که از این شکلها هویداست مقدار جریان تولیدی روتور در هر دو محور، دنبالهروی خوب و مناسبی از مقدار مرجع دارد ولی در حالت بدونسنسور مشاهده می شود جریان مرجع روتور در محور q تا لحظه (t=2.5s) دارای نوسانهایی است که در حالت باسنسور، این نوسانها وجود ندارد. علت این نوسان، مربوط به ضرایت کنترل کننده PI رویتگر RCMO است.

شکل 7f و 7g توانهای تولیدی استاتور را نشان میدهد که بخوبی توانهای مرجع را دنبال میکند. در هر دو شکل نوسانهایی وجود دارد. شکل 7h در حالت (B)سرعت تخمینی روتور را در مقایسه با سرعت واقعی آن نشان میدهد. همانطور که در شکل دیده میشود سرعت تخنینی بخوبی سرعت واقعی را دنبال میکند.

از مقایسه این دو شکل مشاهده می شود که کنترل بدون سنسور با رویتگر RCMO در شرایط افت ولتاژ نامتعادل در شبکه همچون کنترل باسنسور، پاسخ مطلوب و مناسبی ارایه می نماید.





کنفرانس ملی فناوری های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر









وسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان

۲۷ دی ۱۳۹۶







۲۷ دی ۱۳۹۶



نتيجهگيرى

در این مقاله یک روش کنترل کنندهی بدون سنسور برای DFIG در شرایط نامتعادلی ولتاژ شبکه ارایه شده است. در این مقاله بجای اندازه گیری سرعت و زاویه روتور از تخمین آنها با RCMO استفاده شده است. مدل DFIG در چارچوب مرجع مثبت و منفی در نظر گرفته میشود. ولتاژ نامتعادل شبکه، باعث ایجاد مولفه منفی در ولتاژ و جریان DFIG میشود. تغییرات P و Q استاتور ژنراتور با وجود مولفه منفی ولتاژ و جریان روتور.



۲۷ دی ۱۳۹۶

بوسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

همچنین در این مقاله از دو جفت کنترل کننده در چارچوب مرجع استاتور dq استفاده شده است (در مجموع از چهار کنترل کننده PI) یک جفت برای مولفه های مثبت و جفت دیگر برای مولفه های منفی که بتواند کنترل دقیق و صحیحی بر روی مولفه های جریان روتور (مولفه مثبت و منفی) ایجاد کند. شبیه سازی بر روی یک سیستم DFIG با توان 2MW با نرم افزار MATLAB/Simulink انجام شده است. نتایج شبیه سازی نشان میدهد کنترل برداری بدون سنسور با وجود نامتعادلی ولتاژ شبکه بخوبی کنترل برداری برداری برداری برداری برداری برداری برداری برداری برداری برای مولفه های جی بر روی یک سیستم MATLAB/Simulink انجام شده است. نتایج شبیه سازی مسید می در می می برداری ب

1- مراجع

- [1] M. Tsili and S. Papthanassiou, "A review of grid code technical requi_rements for wind farms," IET Renew. Power Generat., no. 3, pp. 308–332, 2009.
- [2] M. A. Asha Rani, C. Nagamani, G. Saravana Ilango, and A. Karthikeyan, "An Effective Reference Generation Scheme for DFIG With Unbalanced Grid Voltage" IEEE Trans. on Sustainable Energy, VOL. 5, NO. 3, JULY 2014.
- [3] Heng Nian, Member, IEEE, Peng Cheng, and Z. Q. Zhu, Fellow, IEEE," Independent Operation of DFIG-Based WECS Using Resonant Feedback Compensators Under Unbalanced Grid Voltage Conditions" IEEE Trans. on Power Electronics, VOL. 30, NO. 7, JULY 2015.
- [4] M. Malinowski, M. P. Kazmierkowski, S. Hansen, F. Blaabjerg, and G. D. Marques, "Virtual-flux-based direct power control of three-phase PWM rectifiers," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 37, no. 4, pp. 1019–1027, Jul./Aug. 2001.
- [5] M. Abolhassani, P. Niazi, H. Tolivat, and P. Enjeti, "A sensorless Integrated Doubly-Fed Electric Alternator/Active filter (IDEA) for variable speed wind energy system," in Conf. Rec. 38th IEEE IAS Annu. Meeting, 2003, pp. 507–514.
- [6] R. Datta and V. T. Ranganathan, "A simple position-sensorless algorithm for rotor-side field-oriented control of wound-rotor induction machine,"IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 48, no. 4, pp. 786–793, Aug. 2001.
- [7] L. Morel, H. Godfroid, A. Mirzaian, and J. M. Kauffmann, "Doublefed induction machine: Converter optimisation and field oriented control without position sensor," Proc. Inst. Elect. Eng.—Elect. Power Appl., vol. 145, no. 4, pp. 360–368, Jul. 1998.
- [8] E. Bogalecka and Z. Krzeminski, "Sensorless control of a double-fed machine for wind power generators," in Proc. EPE-PMC, Dubrovnik and Cavtat, Croatia, 2002, [CD-ROM].





- [9] B. Hopfensperger, D. J. Atkinson, and R. A. Lakin, "Stator-flux-oriented control of a doubly-fed induction machine with and without position encoder," Proc. Inst. Elect. Eng.—Elect. Power Appl., vol. 147, no. 4, pp. 241–250, Jul. 2000.
- [10] O. A. Mohammed, Z. Liu, and S. Liu, "A novel sensorless control strategy of doubly fed induction motor and its examination with the physical modeling of machines," IEEE Trans. Magn., vol. 41, no. 5, pp. 1852–1855, May 2005.
- [11] L. Xu and W. Cheng, "Torque and reactive power control of a doubly fed induction machine by position sensorless scheme," IEEE Trans. Ind.Appl., vol. 31, no. 3, pp. 636–642, May/Jun. 1995.
- [12] C. Schauder, "Adaptive speed identification for vector control of induction motors without rotational transducers," IEEE Trans. Ind. Appl.,vol. 28, no. 5, pp. 1054–1061, Sep./Oct. 1992.
- [13] R. Ghosn, C. Asmar, M. Pietrzak-David, and B. De Fornel, "A MRASsensorless speed control of doubly fed induction machine," in Proc. Int.Conf. Elect. Mach., 2002, pp. 26–28.
- [14] R. Ghosn, C. Asmar, M. Pietrzak-David, and B. De Fornel, "A MRAS Luenberger sensorless speed control of doubly fed induction machine," in Proc. Eur. Power Electron. Conf., 2003, [CD-ROM].
- [15] R. Cardenas, R. Pena, J. Proboste, G. Asher, and J. Clare, "MRAS observer for senseless control of standalone doubly fed induction generators," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 20, no. 4, pp. 710–718, Dec. 2005.
- [16] R. Peña, R. Cardenas, J. Proboste, G. Asher, and J. Clare, "Sensorless control of doubly-fed induction generators using a rotor-current-based MRAS observer," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no. 1, pp. 330–339, Jan. 2008.
- [17] R. Pena, R. Cardenas, J. Proboste, G. Asher, and J. Clare, "Sensorless control of a slip ring induction generator based on rotor current MRAS observer," in Proc. 36th IEEE PESC, 2005, pp. 2508–2513.
- [18] M. S. Carmeli, M. Iacchetti, and R. Perini, "A MRAS observer applied to sensorless doubly fed induction machine drives," in Proc. IEEE ISIE,2010, pp. 3077–3082.
- [19] F. Castelli-Dezza, G. Foglia, M. F. Iacchetti, and R. Perini, "An MRAS observer for sensorless DFIM drives with direct estimation of the torque and flux rotor current components," IEEE Trans. Power Electron.,vol. 27, no. 5, pp. 2576–2584, May 2012.
- [20] B. Mwinyiwiwa, Y. Zhang, B. Shen, and B.-T. Ooi, "Rotor position phaselocked loop for decoupled P–Q control of DFIG for wind powergeneration," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 24, no. 3, pp. 758–765, Sep. 2009.
- [21] K. Gogas, G. Joos, B. T. Ooi, Y. Z. Zhang, and B. Mwinyiwiwa, "Designof a robust speed and position sensorless decoupled P-Q controlleddoubly-fed



induction generator for variable-speed wind energy applications,"in Proc. IEEE Canada EPC, 2007, pp. 62–67.

- [22] R. Cárdenas, R. Peña, S. Alepuz, and G. Asher, "Overview of Control Systems for the Operation of DFIGs in Wind Energy Applications" IEEE Trans. Ind. Elec., vol. 60, no. 7, july,2013.
- [23] Lie Xu, and Yi Wang," Dynamic Modeling and Control of DFIG-BasedWind Turbines Under Unbalanced Network Conditions", IEEE TRANS. POWER SYS., VOL. 22, NO. 1, FEB. 2007.