

## کنترل بهینه ژنراتور القایی دو سو تغذیه با هدف بهبود نوسانات زیر سنکرون

محمد صادق پیام<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه مهندسی برق، واحد بروجن، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجن، ایران [ms.payam@ec.iut.ac.ir](mailto:ms.payam@ec.iut.ac.ir)

چکیده - در این مقاله به بررسی پدیده نوسانات زیر سنکرون در سیستم های جبران سازی شده سری در حضور نیروگاه های بادی پرداخته می شود. یکی از مهمترین مولدهای مورد استفاده در مزارع بادی ژنراتورهای القایی دوسو تغذیه (DFIG) می باشد. این مولد دارای دو مبدل سمت شبکه و سمت رتور می باشد. به طور معمول، مبدل سمت رتور وظیفه کنترل توان راکتیو و گشتاور الکتریکی را به عهده دارد. و مبدل سمت شبکه وظیفه کنترل ولتاژ ترمینال و ولتاژ لینک DC را به عهده دارد. در این مقاله یک کنترل کننده اضافی برای مبدل سمت شبکه DFIG طراحی می گردد تا در کنار کنترل توان های اکتیو و راکتیو، DFIG بتواند باعث میراسازی نوسانات زیر سنکرون گردد. نتایج شبیه سازی، کارآیی این روش پیشنهادی را نشان می دهد.

کلید واژه- نوسانات زیر سنکرون- ژنراتور القایی دو سو تغذیه (DFIG)

و SVC می باشد [۶]. دلیل این موضوع اکتیو بودن و کنترل پذیری بهتر آن دو مقایسه با دو عنصر دیگر بیان شده است. از طرفی محققین مختلفی به بررسی SSR در سیستم ژنراتور بادی سرعت ثابت با جبران سازی سری که در ژنراتورهای القایی دو قفسی خود تحریکه به کار گرفته می شوند، پرداخته اند. این بررسی ها نشان می دهند که افزایش توان خروجی مزارع باد، افزایش میرایی سیستم را بدنبال دارد [۷]. با بررسی ساختار مبدل سمت شبکه DFIG مشخص می شود که عملکرد این مبدل شباهت زیادی به STATCOM دارد. بنابراین می توان به جای استفاده از این عنصر FACTS در شبکه از خود این مبدل برای میراسازی نوسانات زیر سنکرون بهره برد. همان طور که در بخش قبل اشاره شد، از مبدل سمت شبکه جهت حفظ ولتاژ خازن لینک DC و همچنین تبادل توان راکتیو با شبکه استفاده می گردد. در کنار این اهداف می توان از یک کنترل کننده مکمل برای کاهش نوسانات زیر سنکرون استفاده کرد [۸]. در برخی مراجع، محققین به مدلسازی و بررسی پایداری DFIG مبتنی بر مزارع باد جبران سازی شده سری پرداخته شده است و تاثیر پارامترهایی مانند سرعت باد، درصد جبران سازی بر میرایی زیر سنکرون سیستم در نظر گرفته است. مراجع فوق نشان می دهند که افزایش سرعت و کاهش درصد جبران سازی باعث بهبود اثر SSR در شبکه دارند. به علاوه این مراجع به معرفی یک کنترل کننده مکمل برای بهبود میرایی نوسانات زیر سنکرون پرداخته است. اما هیچ استدلالی مبنی بر بهینه بودن این روش

### ۱- مقدمه

اتصال مزارع بادی به شبکه های قدرت یکی از مسائل مهم در زمینه سیستم های قدرت به حساب می آید. یکی از به صرفه ترین روش ها برای اتصال مزارع بادی با فاصله دور از شبکه های برق، بکارگیری خطوط جبران سازی شده با خازن سری می باشد. بکارگیری این روش در کنار مزایای اقتصادی آن مشکلاتی مانند وقوع پدیده نوسانات زیر سنکرون (SSR) را به همراه دارد. با توجه به گسترش مزارع بادی، این سوال پیش می آید که آیا SSR می تواند در مزارع با جبران سازی سری رخ دهد یا خیر؟ پدیده SSR در موتور القایی تک قفسی توسط لیمبر و هارلی مورد توجه قرار گرفته است [۱]. این محققین نشان داده اند که نوسانات فوق ناشی از اثر مقاومت منفی اعمالی مولد به شبکه در فرکانس زیر سنکرون است.

تاکنون مقالات زیادی به بررسی این پدیده در سیستم های جبران سازی شده سری و در حضور ژنراتور سنکرون پرداخته اند [۲-۴]. یکی از روش های میراسازی نوسانات زیر سنکرون در مولدهای سنکرون بکارگیری TCSC و SVC می باشد [۵]. در واقع با تنظیم و کنترل مناسب این ادوات می توان تاثیر مخرب پدیده SSR را تا حد زیادی برطرف ساخت. از جمله ادوات دیگر که می تواند برای رسیدن به این هدف مورد استفاده قرار گیرد، STATCOM است. بررسی ها نشان داده که عملکرد این عنصر FACTS در میراسازی نوسانات SSR بهتر از TCSC

روابط به عنوان متغیرهای حالت انتخاب شده اند. به علاوه  $v_{iq}$  و  $v_{id}$  مولفه های مربوط به ولتاژ باس بی نهایت می باشند.

### ۲-۲- مدل خطی شده بخش الکتریکی مولد

#### القایی دو سو تغذیه

دومین بخش از سیستم مورد مطالعه ماشین القایی می باشد. معادلات ماشین القایی در محور dq و در قاب مرجع سنکرون به صورت روابط (۲-۲) و (۳-۲) می باشد. در این روابط جریان های DFIG به عنوان متغیرهای حالت انتخاب شده اند و ولتاژهای آن به صورت ورودی در نظر گرفته شده اند.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{os} \\ i_{qr} \\ i_{dr} \\ i_{or} \end{bmatrix} = A_{DFIG} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{os} \\ i_{qr} \\ i_{dr} \\ i_{or} \end{bmatrix} + B_{DFIG} \begin{bmatrix} v_{qs} \\ v_{ds} \\ v_{os} \\ v_{qr} \\ v_{dr} \\ v_{or} \end{bmatrix} \quad (2)$$

در معادله بالا ماتریس های حالت به صورت زیر بیان

می شوند:

$$A_{DFIG} = -\omega_b G^{-1} F \quad (3)$$

$$B_{DFIG} = \omega_b G^{-1}$$

$$G = \begin{bmatrix} X_{ss} & 0 & 0 & X_M & 0 & 0 \\ 0 & X_{ss} & 0 & 0 & X_M & 0 \\ 0 & 0 & X_{ls} & 0 & 0 & 0 \\ X_M & 0 & 0 & X_{rr} & 0 & 0 \\ 0 & X_M & 0 & 0 & X_{rr} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X_{lr} \end{bmatrix}$$

### ۲-۳- مدل خطی شده بخش الکتریکی مولد القایی دو سو

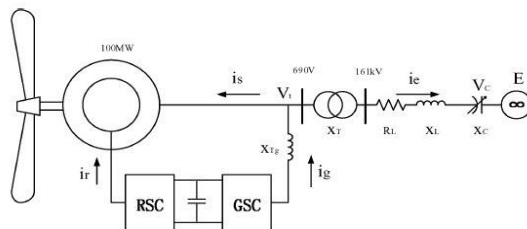
#### تغذیه

شفت توربین بادی از دو بخش تشکیل می شود. بخش اول شامل توربین سرعت کم و بخش دوم شامل توربین با سرعت بالا می باشد. در بررسی مسئله SSR می بایست هر دو بخش مشابه سیستم جرم و فنر مدل سازی شوند. معادله توصیف کننده این سیستم در رابطه (۴) آورده شده است [۱۱].

کنترلی بیان نکرده است [۹-۱۰]. در این مقاله به معرفی یک روش کنترلی بهینه برای کاهش نوسانات زیر سنکرون به کمک DFIG پرداخته می شود.

### ۲- مدل سازی DFIG در یک شبکه جبرانسازی شده با هدف بررسی اثر SSR

با توجه به ماهیت مسئله می بایست مدل خطی شده سیستم مورد مطالعه قرار گیرد. سیستم مورد مطالعه در این طرح در شکل ۱ آورده شده است. و مشخصات این سیستم در پیوست آورده شده است. در این بخش در ابتدا معادلات حاکم بر بخش های مختلف سیستم بیان می شوند. در ادامه معادلات تجمیع شده و با کمک آنالیز مودال به بررسی پدیده نوسانات زیر سنکرون در این شبکه پرداخته می شود. در بخش بعد به معرفی یک کنترل کننده مکمل به منظور کاهش اثر پدیده زیر سنکرون پرداخته می شود.



شکل ۱ سیستم مورد مطالعه

### ۲-۱- مدل سازی شبکه جبرانسازی شده با خازن

#### سری

مدل دینامیکی شبکه جبرانسازی شده با خازن سری

در بردار مرجع در رابطه زیر آورده شده است [۱۱]:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} v_{cq} \\ v_{cd} \\ i_{eq} \\ i_{ed} \end{bmatrix} = \omega_b \begin{bmatrix} 0 & -\omega_e & X_c & 0 \\ \omega_e & 0 & 0 & X_c \\ -1 & 0 & -R_l & -\omega_e \\ 0 & -1 & \omega_e & -R_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{cq} \\ v_{cd} \\ i_{eq} \\ i_{ed} \end{bmatrix} + \omega_b \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{v_{iq} - E_q}{X_l} \\ \frac{v_{id} - E_d}{X_l} \end{bmatrix} \quad (1)$$

در رابطه بالا  $v_{cd}$ ,  $v_{cq}$ ,  $i_{eq}$  و  $i_{ed}$  به ترتیب مولفه های

ولتاژ خازن سری و جریان خط انتقال می باشند. که در این

یکدیگر متصل شده اند. دینامیک ولتاژ این لینک DC به صورت یک معادله درجه اول بیان می شود [۱۲].

$$-CV_{DC} \frac{dV_{DC}}{dt} = P_r + P_g \quad (6)$$

در این رابطه  $P_r$  توان اکتیو مربوط به مبدل سمت رتور و  $P_g$  توان اکتیو مبدل سمت شبکه می باشد و به کمک روابط (۷) و (۸) محاسبه می شوند [۱۲]:

$$P_r = 0.5(v_{qr}i_{qr} + v_{dr}i_{dr}) \quad (7)$$

$$P_g = 0.5(v_{qg}i_{qg} + v_{dg}i_{dg}) \quad (8)$$

### ۳- معرفی کنترل کننده بهینه مکمل پیشنهادی برای

#### کاهش نوسانات زیر سنکرون

کنترل کننده های مرسوم مبدل های DFIG وظایف کنترل توان اکتیو و راکتیو و همچنین کنترل ولتاژ ترمینال خروجی مولد را برعهده دارند. بررسی دقیق تر ساختار مبدل سمت شبکه نشان می دهد که عملکرد آن شباهت زیادی به ساختار STATCOM دارد. در مرجع [۱۳] به معرفی یک روش کنترلی برای کاهش اثر نوسانات زیر سنکرون با کمک این عنصر FACTS پرداخته شده است. در این مقاله یک کنترل کننده مکمل برای مبدل طراحی شده است و با کمک این کنترل کننده به کاهش اثر نوسانات زیر سنکرون بر شبکه قدرت پرداخته شده است. در این پایان نامه از ایده این مقاله برای بهبود این نوسانات به کمک مبدل سمت شبکه DFIG پرداخته می شود. تنها عیب روش پیشنهادی این مقاله عدم بهینه بودن ضرایب کنترل کننده می باشد. شکل ۲ و ۳ کنترل کننده های مبدل سمت شبکه و رتور را به همراه کنترل کننده مکمل نشان می دهد.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \omega_t \\ \omega_r \\ T_{tg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-D_t - D_{tg}}{2H_w} & \frac{D_{tg}}{2H_w} & -1 \\ \frac{D_{tg}}{2H_g} & \frac{-D_g - D_{tg}}{2H_g} & 1 \\ K_{tg} \omega_b & -K_{tg} \omega_b & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_t \\ \omega_r \\ T_{tg} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2H_w} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2H_g} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_e \\ T_e \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

در این رابطه متغیرهای حالت شامل سرعت توربین، سرعت رتور مولد و گشتاور داخلی سیستم دو بخشی توربین می باشد. به علاوه ورودی های مدل شامل گشتاور ورودی توربین و گشتاور الکتریکی می باشند. مقدار گشتاور توربین بر اساس سرعت آن در جدول ۱ آورده شده است. مقدار گشتاور الکتریکی نیز بر حسب پیرونیته مطابق رابطه (۵) می باشد.

$$T_e = 0.5 X_M (i_{qs} i_{dr} - i_{ds} i_{qr}) \quad (5)$$

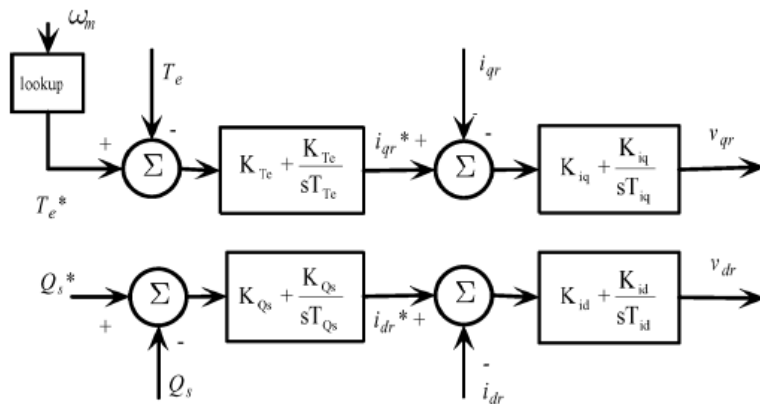
به علاوه و مولفه های مربوط به ولتاژ باس بی نهایت می باشند. جدول ۱- گشتاور و توان تولیدی توربین بادی در سرعت های مختلف

$V_w (m/s)$	7	8	9	10	11	12
$\omega_r (p.u)$	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
$P_w (p.u)$	5	5	5	5	5	5
$P_e (p.u)$	0.3	0.4	0.6	0.9	1.2	1.6
$T_e (p.u)$	2	9	9	5	5	0
	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2
	3	8	3		9	8

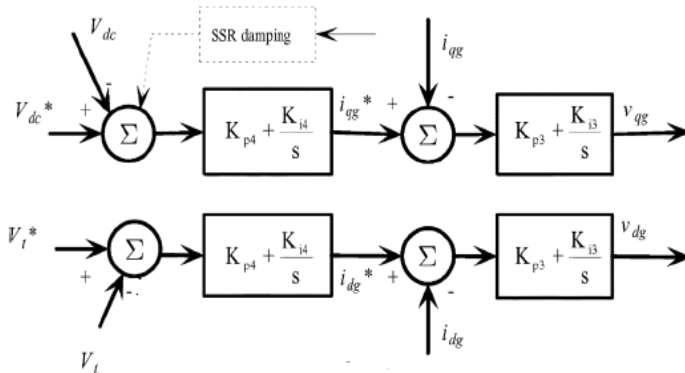
### ۲-۴- مدل لینک DC

شکل ۱ نشان می دهد که یک DFIG در حالت کلی دارای دو مبدل پشت به پشت می باشد که توسط یک لینک DC به

۲۰۱۳ و ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراکی)



شکل ۲ بلوک کنترل کننده مبدل سمت رتور



شکل ۳- بلوک کنترل کننده مبدل سمت شبکه به همراه مبدل مکمل

شامل ضرایب کنترل کننده های تناسبی انتگرالی کنترل کننده های مرسوم و مکمل می باشد.

$$\dot{X} = AX + BU \quad (9)$$

ضرایب کنترلی به گونه ای تعیین می شوند که تابع هدف زیر مینیمم گردد. در این رابطه N تعداد مقادیر ویژه سیستم و  $\mathcal{E}_i$  ضرایب میرایی سیستم می باشد که مطابق شکل ۳-۷ محاسبه می شود. به علاوه در این رابطه مقدار  $\mathcal{E}_0$  برابر  $0.7/0.7$  در نظر گرفته می شود. زیرا هرچه قدر ضرایب میرایی یک سیستم به عدد فوق نزدیکتر باشد سرعت میرایی سیستم بهتر خواهد بود و درصد بالازدگی در پاسخ خروجی سیستم در حد معقولی می باشد. در رابطه فوق کوچکتر بودن تابع J نشان دهنده میرایی مناسب سیستم می باشد.

$$J = \sum_{i=1}^N (\mathcal{E}_i - \mathcal{E}_0)^2, \text{Fit} = \min(J) \quad (10)$$

شکل ۳ نشان می دهد که خروجی کنترل کننده

مکمل به ورودی کنترل کننده مربوط به ولتاژ لینک DC اعمال می شود. با توجه به اینکه هدف میرایی نوسانات زیر سنکرون است، ورودی این کنترل کننده  $\Delta\omega$  (تغییرات سرعت زاویه ای رتور) و کنترل کننده مورد استفاده یک کنترل کننده PI می باشد. در بررسی پدیده نوسانات زیر سنکرون مانند بررسی پایداری سیگنال کوچک با توجه به کوچک بودن دامنه نوسانات، معادلات سیستم می بایست حول نقطه کار سیستم خطی شوند. در این مسئله نیز ابتدا کلیه روابط سیستم خطی می شوند. تا معادلات حالت سیستم به فرم (۳-۹) بیان شوند. در ادامه مقادیر ویژه سیستم محاسبه می شود. ضرایب سیستم های کنترلی می بایست به گونه ای طراحی شوند تا تمامی مقادیر ویژه سمت چپ محور موهومی قرار گیرند. در این مسئله متغیرهای مورد نظر

بوده و در نتیجه پایداری تمامی موده های سیستم تضمین شده است.

جدول ۲- ضرایب کنترل کننده های مکمل و اصلی

$T_{Te}$	$T_{Qs}$
$T_{iq}$	$T_{id}$
$K_{Te}$	$K_{Qs}$
$K_{iq}$	$K_{id}$
$K_{p3}$	$K_{i3}$
$K_{p4}$	$K_{i4}$
$K_{ps}$	$K_{pi}$

جدول ۳ پارامترهای انتخابی برای الگوریتم بهینه سازی

مقادیر	پارامترها
۲۰۰	اندازه جمعیت
۱۰۰	تعداد تکرارها
۲۰	تعداد ممپلکس ها
۱۰	تعداد تکرارهای جستجوی محلی
inf.	$D_{max}$

جدول ۴- ضرایب کنترل کننده های محاسبه شده توسط روش بهینه سازی پیشنهادی

$T_{Te}$	۰/۰۳۵	$T_{Qs}$	۰/۰۱۵
$T_{iq}$	۰/۰۰۲۲	$T_{id}$	۰/۰۳۴
$K_{Te}$	۰/۱۰۳	$K_{Qs}$	۰/۱۰۶
$K_{iq}$	۰/۰۱۲	$K_{id}$	۰/۰۱۶
$K_{p3}$	۰/۸۸	$K_{i3}$	۱۰۰
$K_{p4}$	۰/۰۹	$K_{i4}$	۰/۰۴۸
$K_{ps}$	۰/۷۲	$K_{pi}$	۶۹

برای محاسبه ضرایب میرایی ابتدا معادلات سیستم به فرم (۹) تبدیل می شوند. سپس مقادیر ویژه سیستم محاسبه شده و در انتها ضرایب میرایی سیستم محاسبه می شوند. برای تنظیم این ضرایب از روش بهینه سازی هوشمند جهش قورباغه [۱۴-۱۵] استفاده می شود. در واقع برای تنظیم این ضرایب هدف بهبود ضرایب میرایی سیستم می باشد. برای این منظور در هر مرحله از شبیه سازی ضرایب میرایی تمامی مود های سیستم محاسبه می شود.

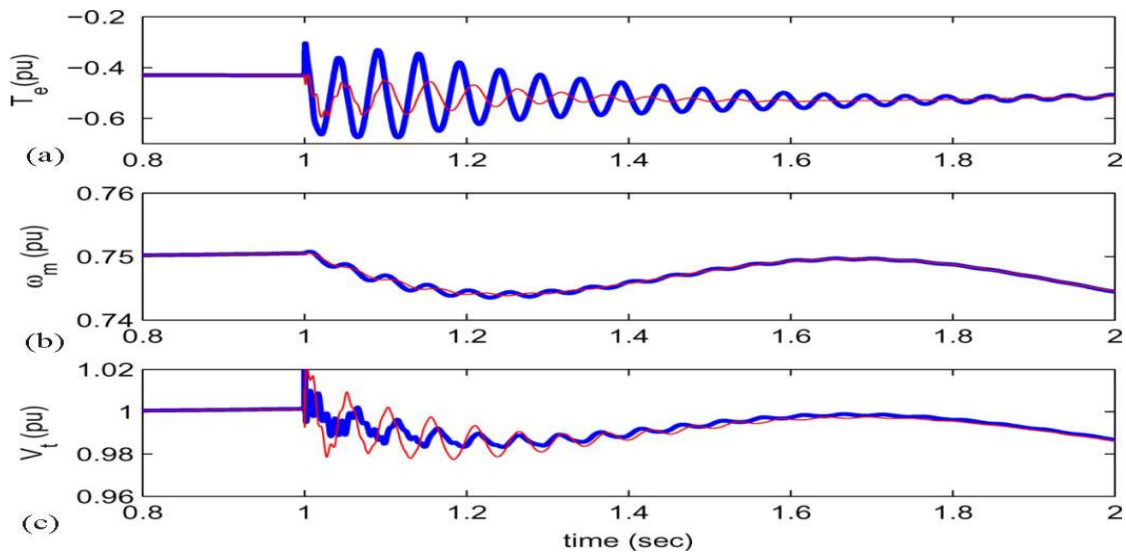
#### ۴- بیان نتایج عددی

سیستم تست مورد مطالعه در این مقاله در شکل ۱ آورده شده است. در حالت کلی سیستم مورد مطالعه دارای ۲۰ متغیر حالت به صورت رابطه (۱۱) می باشد.

متغیرهای کنترلی در جدول ۲ آورده شده است. این ضرایب کنترلی مربوط به کنترل کننده های شکل های (۲) و (۳) می باشد. در این جدول ضرایب  $K_{pi}$  و  $K_{ps}$  مربوط به کنترل کننده مکمل و بقیه ضرایب مربوط به کنترل کننده های اصلی مبدل های سمت رتور و سمت شبکه می باشند. در این مسئله فرض بر آن است که این ضرایب در محدوده ۰ تا ۱۰۰ قرار می گیرد. در جدول ۳ تنظیمات مربوط به روش بهینه سازی جهش قورباغه به هم آمیخته آورده شده است. با توجه به اینکه در این روش بهینه سازی جواب اولیه راندوم است و روش مبتنی بر تکرار الگوریتم می باشد. امکان آن وجود دارد که در برخی از اجراهای برنامه به جواب بهینه اصلی نرسیم. بنابراین در این مقاله برنامه بهینه سازی فوق ۱۰ بار اجرا شده و بهترین جواب به عنوان جواب نهایی انتخاب شده است. تابع هدف نتایج حاصل در جداول ۴ و ۵ آورده شده است. در جدول ۴ ضرایب بهینه کنترل کننده ها آورده شده است. به علاوه در جدول ۵ مقادیر ویژه کلی سیستم و ضرایب میرایی مربوطه آورده شده است. جدول فوق نشان می دهد که اضافه شدن سیستم کنترل مکمل باعث اضافه شدن یک مقدار ویژه به سیستم گردیده است. بررسی جدول ۵ نشان می دهد که اضافه شدن سیستم کنترل مکمل باعث اضافه شدن یک مقدار ویژه به سیستم می شود. از طرفی تمامی مقادیر ویژه سیستم دارای نسبت میرایی مثبت

جدول ۵- مود های سیستم در سرعت رتور ۷ متر بر ثانیه و درصد جبران سازی ۷۵ درصد

مقدار ویژه	مود	مقدار ویژه	مود
-92.25	$\lambda_{14}$	$-0.1134 \pm j130.2$	$\lambda_{1,2}$
-0.62	$\lambda_{15}$	$-5.33 \pm j623$	$\lambda_{3,4}$
-0.0121	$\lambda_{16}$	$-9.55 \pm j100.3$	$\lambda_{5,6}$
-0.0127	$\lambda_{17}$	$-0.932 \pm j5.93$	$\lambda_{7,8}$
-0.0023	$\lambda_{18}$	$-825.22 \pm j4156$	$\lambda_{9,10}$
-18.21	$\lambda_{19}$	$-0.1246 \pm j0.5131$	$\lambda_{11,12}$
-20.8	$\lambda_{20}$	-2012	$\lambda_{13}$
		-13.12	$\lambda_{21}$



شکل ۴-۵- بررسی تغییرات گشتاور الکتریکی، سرعت رتور و ولتاژ

استفاده گردید و پارامترهای کنترل کننده با روش بهینه سازی جهش قورباغه به هم آمیخته طراحی شد. نتایج نشان می دهد که اضافه شدن یک کنترل کننده مکمل باعث میرایی تمامی مودهای سیستم می گردد.

### سپاسگزاری

این مقاله حاصل یک طرح پژوهشی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجن بوده است. که مولف از این واحد دانشگاهی کمال تشکر را دارد.

### ۵- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی پدیده نوسانات زیر سنکرون در نیروگاههای بادی پرداخته شد. برای این منظور شبیه سازی بر روی یک سیستم تست تک ماشینه متصل شده به باس بی نهایت انجام شد. بررسی ها نشان می دهد که با افزایش سرعت چرخش توربین بادی و همچنین افزایش درصد جبران سازی خط احتمال نامیرایی نوسانات زیر سنکرون افزایش می باید. برای رفع این مشکل از یک جبران ساز مکمل در مبدل سمت شبکه DFIG

## مراجع

- [1] Takahashi, I., Noguchi, T., "A New quick-Response and High – Ferecuncy control sterategy of an induction motor, IEEE Trans. Ind. Appl., vol.IA22, no. 5,pp. 820-827, Sep. 2009.
- [2] R. K. Varma, S. Auddy, and Y. Semsedini, "Mitigation of subsynchronous resonance in a series-compensated wind farm using FACTS controllers," IEEE Trans. Power Del., vol. 23, no. 3, pp. 1645–1654, Jul. 2008.
- [3] A. Ostadi, A. Yazdani, and R. Varma, "Modeling and stability analysis of a DFIG-based wind-power generator interfaced with a series-compensated line," IEEE Trans. Power Del., vol. 24, no. 3, pp. 1504–1514, Jul. 2009.
- [4] M. S. El-Moursi, B. Bak-Jensen, and M. H. Abdel-Rahman, "Novel STATCOM controller for mitigating SSR and damping power system oscillations in a series compensated wind park," IEEE Trans. Power Electron., vol. 25, no. 2, pp. 429–441, Feb. 2010.
- [5] A. Tapia, G. Tapia, J. X. Ostolaza, and J. R. Saenz, "Modeling and control of a wind turbine driven doubly fed induction generator," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 18, no. 2, pp. 194–204, Jun. 2013.
- [6] Johnson, K.E., Pao, L.Y., Balas, M.J., Fingersh, L.J. "Control of variable-speed wind turbines: standard and adaptive techniques for maximizing energy capture", IEEE Control Systems Magazine vol.26 no.3, pp. 70–81, 2008.
- [7] Mohammadpour H., Ghaderi A. ,Santi E., Analysis of sub-synchronous resonance in doubly-fed induction generator-based wind farms interfaced with gate – controlled series capacitor, IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 8, NO. 12, 2014.
- [8] Zhu C., Fan L., Modal Analysis of a DFIG-Based Wind Farm Interfaced With a Series Compensated Network, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 26, NO. 4, DECEMBER 2014.
- [9] Bijami E, Askari J , Farsangi M.M. , Design of stabilizing signals for power system damping using generalized predictive control optimized by a new hybrid shuffled frog leaping algorithm, Generation, Transmission & Distribution, IET ,Volume 6, Issue10, pp 1036 – 1045, 2012.
- [10] Ebrahimi J, Hosseinian, S.H, Gharehpetian G.B, Design of stabilising signals for power system damping using generalised predictive control optimized by a new hybrid shuffled frog leaping algorithm, Power Systems, IEEE Transactions on Volume 26, pp. 573-581, 2012.
- [11] Huynh T. H., "A modified shuffled frog leaping algorithm for optimal tuning of multivariable PID controllers" Fifth IEEE International Conference on Industrial Technology (IEEE-ICIT'08), Chengdu, China, 21-24 April 2010.
- [12] Zhang X., Hu X., Gui G., Wang Y., and Niu Y., "An improved shuffled frog leaping algorithm with cognitive behavior", Proceeding of 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2008, China.
- [13] Fan L., Miao Z., Mitigating SSR Using DFIG-Based Wind Generation, IEEE TRANS ON SUSTAINABLE ENERGY, VOL. 3, NO. 3. 2013.
- [14] Mohammadpour, H.A., Yong-June Shin, Santi, E., SSR analysis of a DFIG-based wind farm interfaced with a gate-controlled series capacitor, Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Twenty-Ninth Annual IEEE, 2014.
- [15] Mohammadpour H.,Santi E., Modeling and Control of Gate-Controlled Series Capacitor Interfaced With a DFIG-Based Wind Farm, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 62, Issue 2, 2015.