

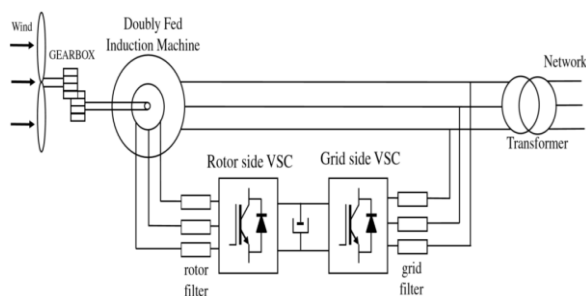
بررسی امکان استفاده از مشخصه رله امپدانسی در ژنراتور القایی دو سو تغذیه

محسن قلعه نوی^۱، محمد ناصر هاشم نیا^۲

^۱ کارشناسی ارشد برق قدرت ، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد - شرکت آذرخش انتقال نیرو پاژ (m.ghalenavi@msgroup.ir)

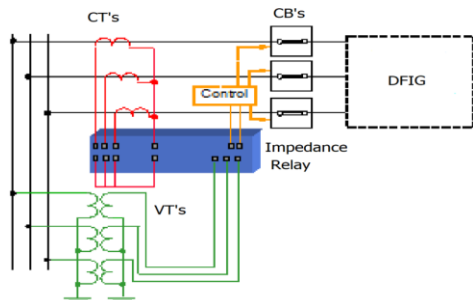
^۲ استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد (hashemnia@mshdiau.ac.ir)

مبدل‌های دو جهته^۸ به شبکه متصل میگردند [2]. شکل ۱ نمای یک ژنراتور دو سو تغذیه را نشان می دهد.



شکل ۱: نمای ژنراتور القایی دو سو تغذیه [2]

نظر به اینکه مقادیر نامی^۹ توربینهای بادی امروزه در حال گسترش بوده و به تبع آن قیمت تجهیزات این توربینها با افزایش مقادیر نامی افزوده میگردد، لزوم بازنگری در تجهیزات حفاظتی ژنراتورهای دو سو تغذیه که قبلا فقط با رله های اضافه جریان^{۱۰} حفاظت میگردد، اجتناب ناپذیر می گردد. از آنجاییکه رله های اضافه جریان رله هایی با تجهیزات تشخیص خطا از نوع جریانی بوده و فقط بر اساس تغییر جریان بیشتر از مقادیر تنظیمی در طی خطا ، عملکرد خواهند داشت، این رله ها ضمن دارا بودن قیمت پایین که به نحوی مزیت محسوب می گردد ، متاسفانه دارای عملکرد مناسبی نبوده و به تنهایی برای حفاظت ژنراتورها ، مکفی نخواهد بود . در این مقاله ارائه یک سیستم حفاظتی که بر مبنای اندازه گیری امپدانس ژنراتور کار می کند مورد بررسی قرار گرفته است [3]. شکل ۲ نمای تفصیلی سیستم حفاظتی جهت یک ژنراتور دو سو تغذیه را نشان می دهد .



شکل ۲: نمای اتصال حفاظت امپدانسی ژنراتور القایی دو سو تغذیه

چکیده

امروزه انرژی باد به یکی از مهمترین منابع انرژی پاک در سرتاسر جهان تبدیل شده است [1]. ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه^۱ یکی از معروفترین و پر کار برد ترین این ژنراتورها می باشد . در این مقاله مدل‌های ریاضی ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه در حوزه زمان بر اساس خطای اتصال حلقه که بصورت پارامتری تعریف میگردد ، برای حالات مختلف از صفر تا صد درصد خطا در سیم پیچ فاز استاتور باز نویسی گردیده است . مدل ریاضی اصلاح شده بدست آمده مبتنی بر خطای مذکور ، با استفاده از نرم افزار سیمولینک^۲/متلب^۳ شبیه سازی گردیده است . جهت تشخیص خطای^۴ اتصال حلقه در مدل شبیه سازی شده ، از مدل رله امپدانسی با الگوریتم تک فاز به زمین ، استفاده شده و نتایج حاصل از خط سیر^۵ انتهای بردار امپدانسی در دستگاه مقاومت - راکتانس^۶ ترسیم گردیده است . با مقایسه نتایج حاصله در حالات مختلف محل‌های قرار گرفتن خطای اتصال حلقه در سیم پیچ فاز استاتور، مشخص میگردد استفاده از روش خط سیر انتهای بردار امپدانسی در دستگاه مقاومت-راکتانس اگر چه دارای شاخص مناسبی برای تشخیص خطای اتصال حلقه میباشد و شرط لازم عملکرد را دارا می باشد ، لیکن شرط کافی عدم عملکرد در حالت غیر خطا را نداشته و میتواند دارای عملکرد کاذب^۷ گردد .

واژه های کلیدی

ژنراتور القایی دو سو تغذیه ، حفاظت امپدانسی ، تشخیص خطا مشخصه رله

مقدمه

ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه سالیان متمادی بعنوان ماشینهای سرعت متغیر در توربینهای بادی استفاده گردیده اند . استاتور این ماشینها بطور مستقیم به شبکه متصل شده و روتور آنها از طریق

¹ Double Fed Induction Generator

² Simulink

³ MATLAB

⁴ Fault Diagnosis

⁵ Trajectory

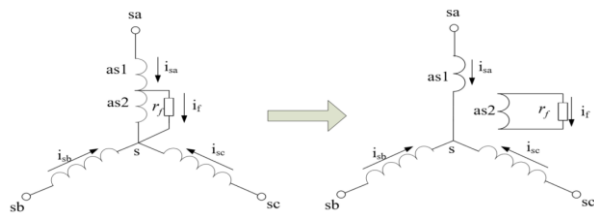
⁶ R-X

⁷ Mal-Operation

⁸ Bi-Directional Convertors

⁹ Rating

¹⁰ Over Current



شکل ۴ پیکره بندی سیم پیچ استاتور با اتصال حلقه در فاز a در ژنراتور القایی دو سو تغذیه

این پارامتر در رابطه (۷) تعریف میگردد.

$$\mu = \frac{\text{تعداد دور سیم پیچ های اتصال کوتاه شده}}{\text{تعداد دور کل سیم پیچ}} \quad (۷)$$

در معادله (۷)، $0 \leq \mu \leq 1$ می باشد. هنگامی که μ برابر صفر است به منزله سالم بودن ژنراتور و هنگامیکه برابر مقادیری به غیر از صفر باشد، درصد مقدار سیم پیچ اتصال حلقه شده را نشان میدهد. در حالت در نظر گرفتن خطا در سیم پیچ فاز a استاتور، معادلات (۱) الی (۶) با در نظر گرفتن اثر μ به ۷ معادله تبدیل می گردد که بصورت ماتریسی در معادله (۸) آورده شده است [7].

$$\begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \\ v_{ra} \\ v_{rb} \\ v_{rc} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu r_s \\ 0 & r_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r_a & 0 \\ \mu r_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu r_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \\ i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \\ i_f \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Psi_{sa} \\ \Psi_{sb} \\ \Psi_{sc} \\ \Psi_{ra} \\ \Psi_{rb} \\ \Psi_{rc} \\ \Psi_f \end{bmatrix} \quad (۸)$$

همچنین معادلات شار سیم پیچها در شرایط خطای مذکور بعلا دو قسمت شدن فاز a، از ماتریس ۶x۶ به ماتریس ۷x۷ مطابق با معادله (۹) تبدیل میگردد.

$$\begin{bmatrix} \Psi_{sa1} \\ \Psi_{sa2} \\ \Psi_{sb} \\ \Psi_{sc} \\ \Psi_{ra} \\ \Psi_{rb} \\ \Psi_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{sa1sa1} & L_{sa1sa2} & L_{sa1sb} & L_{sa1sc} & L_{sa1ra} & L_{sa1rb} & L_{sa1rc} \\ L_{sa2sa1} & L_{sa2sa2} & L_{sa2sb} & L_{sa2sc} & L_{sa2ra} & L_{sa2rb} & L_{sa2rc} \\ L_{sbsa1} & L_{sbsa2} & L_{sbsb} & L_{sbsc} & L_{sbra} & L_{sbrb} & L_{sbrc} \\ L_{scsa1} & L_{scsa2} & L_{scsb} & L_{scsc} & L_{scra} & L_{scrb} & L_{scrc} \\ L_{rasa1} & L_{rasa2} & L_{rasb} & L_{rasc} & L_{raa} & L_{raab} & L_{rarc} \\ L_{rbsa1} & L_{rbsa2} & L_{rbsb} & L_{rbsc} & L_{rbra} & L_{rbrb} & L_{rbrc} \\ L_{rcsa1} & L_{rcsa2} & L_{rcsb} & L_{rcsc} & L_{rcra} & L_{rcrb} & L_{rcrc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sa} - i_f \\ i_{sb} \\ i_{sc} \\ i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} \quad (۹)$$

با محاسبه کلیه اندوکتانسهای خودی و متقابل بین سیم پیچها در حالت خطای اتصال حلقه (تاثیر دادن ضریب μ در قسمت اتصال حلقه سیم پیچ فاز a، و اثر دادن ضریب $(1-\mu)$ در مقدار سالم سیم پیچ فازa) و جایگذاری این مقادیر اندوکتانسها در معادلات (۸) و (۹)، مدل ریاضی شبیه سازی اتصال کوتاه فاز a استاتور در نرم افزار سیمولینک/متلب مطابق با شکل ۵ شبیه سازی می گردد [8],[9].

مدلسازی ریاضی و شبیه سازی سیمولینک/متلب ژنراتور القایی دو سو تغذیه

ژنراتور القایی دو سو تغذیه انتخاب شده برای این مقاله، از دو سیم پیچ سه فاز با ستاره زمین شده بر روی استاتور و روتور، تشکیل گردیده است.

با استفاده از معادلات دیفرانسیل روابط ولتاژهای لحظه ای و شار برای سیم پیچهای استاتور به شرح ذیل استخراج می گردند [4]:

$$v_{as}(t) = R_s i_{as}(t) + \frac{d\psi_{as}(t)}{dt} \quad (۱)$$

$$v_{bs}(t) = R_s i_{bs}(t) + \frac{d\psi_{bs}(t)}{dt} \quad (۲)$$

$$v_{cs}(t) = R_s i_{cs}(t) + \frac{d\psi_{cs}(t)}{dt} \quad (۳)$$

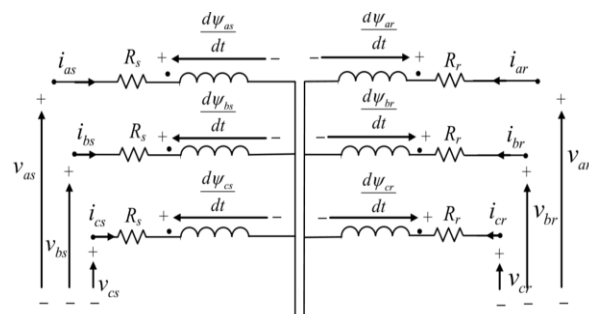
همچنین معادلات دیفرانسیل روابط ولتاژهای لحظه ای و شار روتور مشابه با معادلات استاتور به شرح ذیل می باشد.

$$v_{ar}(t) = R_r i_{ar}(t) + \frac{d\psi_{ar}(t)}{dt} \quad (۴)$$

$$v_{br}(t) = R_r i_{br}(t) + \frac{d\psi_{br}(t)}{dt} \quad (۵)$$

$$v_{cr}(t) = R_r i_{cr}(t) + \frac{d\psi_{cr}(t)}{dt} \quad (۶)$$

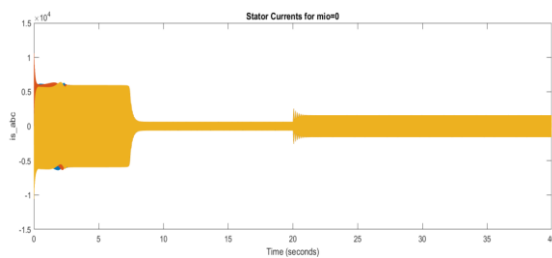
بر اساس معادلات فوق الذکر، مدار معادل الکتریکی ژنراتور دو سوتغذیه در شکل ۳ آورده شده است.



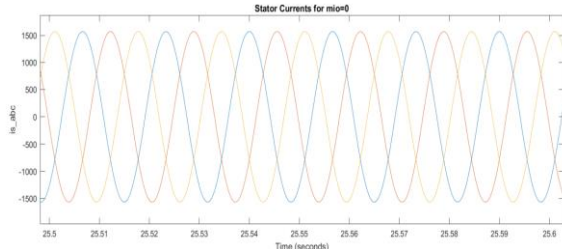
شکل ۳ مدار معادل الکتریکی ژنراتور القایی دو سو تغذیه

در صورتیکه یک فاز سیم پیچ استاتور اتصال کوتاه گردد، میتوان مطابق شکل ۴ سیم پیچ استاتور را متشکل از ۴ سیم پیچ در نظر گرفت که سیم پیچ فاز یک از دو سیم پیچ جداگانه تشکیل گردیده است [5].

برای نشان دادن مقدار سیم پیچ اتصال کوتاه شده در فاز یک سیم پیچ استاتور (اتصال حلقه) پارامتر μ تعریف گردیده است که این پارامتر دلالت بر مقدار سیم پیچ اتصال کوتاه شده در یک فاز استاتور ژنراتور دو سو تغذیه دارد [6].



(الف)

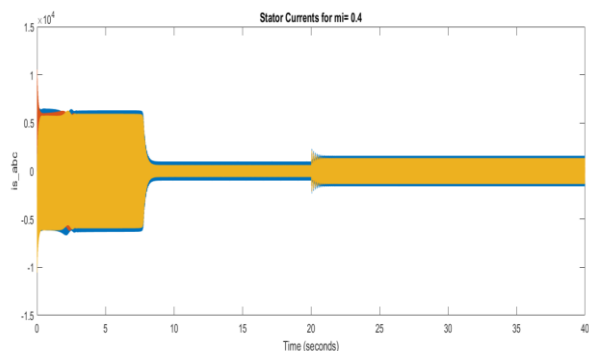


(ب)

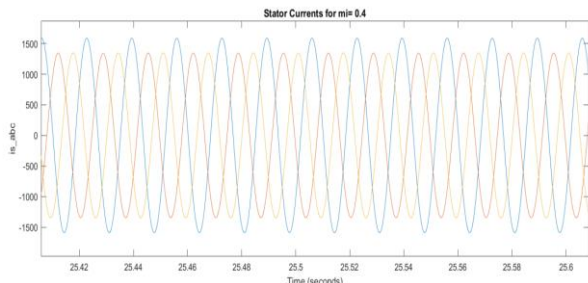
شکل ۶ جریانهای استاتور در حالت سالم ($\mu=0$) ژنراتور القایی دو سو تغذیه

در شکل فوق جریانها در حالت سالم ژنراتور نشان داده می شود. همچنانکه مشاهده می گردد در این حالت جریانهای استاتور متقارن می باشند. برای مشاهده اثر بارگذاری، در ثانیه بیستم بر روی ژنراتور بارگذاری صورت گرفته است.

اشکال ۷ و ۸ جریانهای استاتور را در ۴۰٪ خطا و ۸۰٪ خطای اتصال حلقه نشان می دهد.

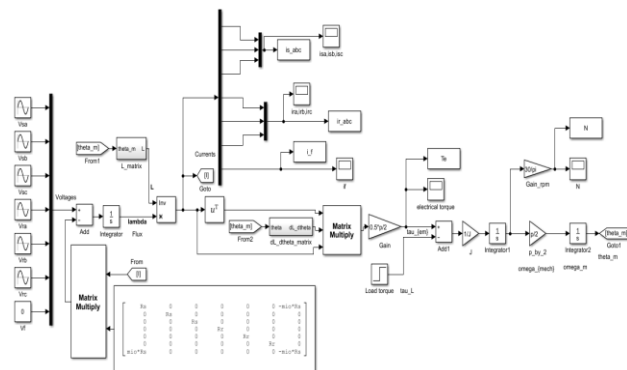


(الف)



(ب)

شکل ۷ جریانهای استاتور در حالت اتصال ۴۰٪ فاز استاتور ($\mu=0.4$) در ژنراتور القایی دو سو تغذیه



شکل ۵ مدل شبیه سازی سیمولینک خطای اتصال کوتاه فاز a استاتور ژنراتور القایی دو سو تغذیه

نتایج حاصل از اتصال کوتاه (اتصال حلقه) ژنراتور

مدل شکل ۵ بر اساس مقادیر ثوابت یک ژنراتور القایی دو سو تغذیه نمونه مطابق با جدول ۱ شبیه سازی گردیده است [4].

جدول ۱ مشخصات نمونه ژنراتور القایی دو سو تغذیه در شبیه سازی

واحد	مقادیر	مشخصات ماشین DFIG برای شبیه سازی	
m	42	Radius	شعاع پره ها
m/s	12.5	Nominal wind speed	سرعت نامی باد
rpm	9-18	Variable speed ratio	نسبت تغییر سرعت
-	7.2	Optimum tip speed ratio (λ_{opt})	نسبت سرعت نوک بپشته
-	0.44	Maximum power coefficient (C_{p_max})	ثابت توان ماکزیمم
Kg/m	1.1225	Air density ρ	چگالی هوا
$kg.m^2$	800	Low speed axle inertia $J_{l,m}$	اینرسی محوری سرعت پایین
Nm.s/rad	0.1	Low speed axle friction $D_{l,m}$	اصطکاک محوری سرعت پایین
Nm/rad	12500	Coupling stiffness K_m	ثابت سختی کوپلینگ
Nm.s/rad	130	Coupling damping D_m	ثابت میرایی
$kg.m^2$	50	High speed axle friction J_m	اینرسی محوری سرعت بالا
Nm.s/rad	0.1	High speed axle friction D_m	اصطکاک محوری سرعت بالا
MW	2	Nominal stator active power	توان اکتیو نامی استاتور
Nm	12732	Nominal torque	گشتاور نامی
Nm	-8500	Nominal torque	گشتاور بار
V	690	Stator voltage	ولتاژ استاتور
rpm	1500	Nominal speed	سرعت نامی باد
rpm	900_2000	Speed range	محدوده سرعت
-	3	Pole pairs	تعداد جفت قطبها
mH	1.521	Magnetizing inductance L_m	اندوکتانس مغناطیسی
mH	0.1327	Rotor leakage inductance $L_{\sigma r}$	اندوکتانس نشتی روتور
mH	0.1247	Stator leakage inductance $L_{\sigma s}$	اندوکتانس نشتی استاتور
Ω	0.0015	Rotor resistance R_r	مقاومت روتور
Ω	0.002	Stator resistance R_s	مقاومت استاتور
HZ	60	Ferequency	فرکانس شبکه
μ	0-1	Coil fault present parameter	پارامتر درصد خطای سیم پیچ

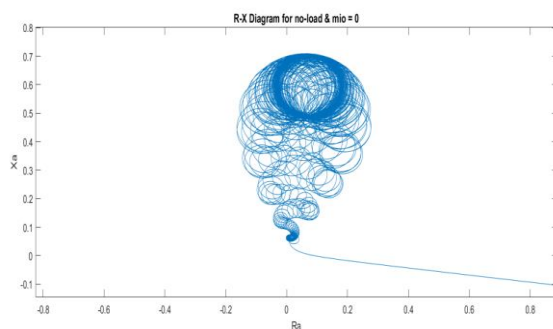
با توجه به مدل شبیه سازی شکل ۵ و مقادیر جدول ۱، جریانهای اتصال کوتاه استاتور برای مقادیر متفاوت μ که بیانگر میزان اتصال حلقه در فاز a استاتور می باشد مطابق با شکل ۶ بدست می آید.

با ثبت نتایج مقادیر مقاومت و راکتانس اندازه گیری شده توسط رله مذکور در شرایط مختلف بی باری و بار کامل در حالت‌های مختلف اتصالی تک فاز در محلهای مختلف سیم پیچ فاز a استاتور ، مشخص میگردد مقادیر امپدانس با افزایش مقدار μ کاهش یافته و به تبع آن جریان عبوری از فاز معیوب افزایش می یابد . این نتیجه شرط لازم مناسب بودن حفاظت امپدانس برای حفاظت ژنراتور دو سو تغذیه برای اتصالی های تک فاز را بر آورده می سازد . جدول ۲ مقادیر فوق الذکر را ارائه می دهد .

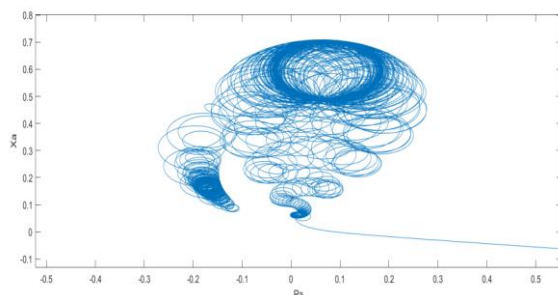
جدول ۲ نتایج تغییر امپدانس بعلت تغییر μ در شرایط بی باری و بار کامل در ژنراتور القایی دو سو تغذیه

حالت	مکان	μ	Za	Za زاویه	Ra	Xa	Za	Za زاویه	Ra	Xa
۱	۰	۰.۶۰۶۴	-۳.۱۶۲	-۰.۰۳۳	۰.۶۰۵۴	۰.۲۱۷۷	-۴۴.۲۵	-۰.۱۶۸۱	۰.۱۳۸۳	۰.۱۳۸۳
۲	۰.۱	۰.۵۲۹۳	-۲.۷۹۷	-۰.۰۲۵	۰.۵۲۸۶	۰.۲۱۹۲	-۴۲.۵	-۰.۱۶۲۶	۰.۱۴۷	۰.۱۴۷
۳	۰.۲	۰.۴۶۸۳	-۲.۴۹	-۰.۰۲۰۳	۰.۵۴۶۴	۰.۲۱۹۳	-۴۰.۱۶	-۰.۱۵۵۵	۰.۱۵۴۷	۰.۱۵۴۷
۴	۰.۳	۰.۴۲۰۰	-۲.۲۲۳	-۰.۰۱۶۳	۰.۴۱۹۷	۰.۲۱۸۱	-۳۸.۶۲	-۰.۱۴۷	۰.۱۶۱۱	۰.۱۶۱۱
۵	۰.۴	۰.۳۷۹۸	-۱.۹۸۸	-۰.۰۱۳	۰.۳۷۹۶	۰.۲۱۵۷	-۳۶.۵۶	-۰.۱۳۷۶	۰.۱۶۶۱	۰.۱۶۶۱
۶	۰.۵	۰.۳۴۶۲	-۱.۷۷۵	-۰.۰۱۰۷	۰.۳۴۶۰	۰.۲۱۲۲	-۳۴.۷۴	-۰.۱۲۷۷	۰.۱۶۹۵	۰.۱۶۹۵
۷	۰.۶	۰.۳۱۷۶	-۱.۵۸	-۰.۰۰۸۷۵۸	۰.۳۱۷۴	۰.۲۰۷۹	-۳۲.۳۸	-۰.۱۱۷۵	۰.۱۷۷۵	۰.۱۷۷۵
۸	۰.۷	۰.۲۹۳۰	-۱.۴۳۰	-۰.۰۰۷۱۶۴	۰.۲۹۲۹	۰.۲۰۲۹	-۳۰.۳۲	-۰.۱۰۷۴	۰.۱۷۲۱	۰.۱۷۲۱
۹	۰.۸	۰.۲۷۱۶	-۱.۲۳۲	-۰.۰۰۵۷۴	۰.۲۷۱۵	۰.۱۹۷۳	-۲۸.۳۲	-۰.۰۹۷۵	۰.۱۷۱۵	۰.۱۷۱۵
۱۰	۰.۹	۰.۲۵۲۹	-۱.۰۷۳	-۰.۰۰۴۷۳۶	۰.۲۵۲۸	۰.۱۹۱۴	-۲۶.۳۹	-۰.۰۸۸	۰.۱۶۹۹	۰.۱۶۹۹
۱۱	۱	۰.۲۳۶۳	-۰.۹۲۱۷	-۰.۰۰۳۸۰۱	۰.۲۳۶۲	۰.۱۸۵۳	-۲۴.۵۶	-۰.۰۷۹۳۷	۰.۱۶۷۴	۰.۱۶۷۴

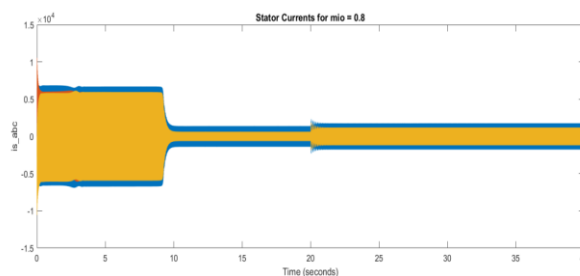
برای صحت سنجی شرط کافی مناسب بودن رله امپدانس جهت حفاظت ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه در مقابل اتصال حلقه فاز استاتور، خط سیر انتهای بردار امپدانس که بعلت تغییر در امپدانس در حالات گذرا در صفحه مقاومت-راکتانس تغییر مکان می دهد، مورد پایش قرار داده شده است . اشکال ۹ الی ۱۴ این خط سیر را در صفحه مقاومت-امپدانس نشان می دهند .



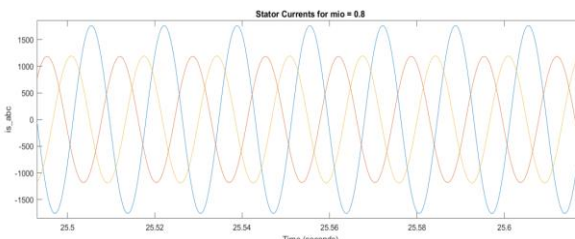
شکل ۹ امپدانس دیده شده توسط رله امپدانس در صفحه R-X در حالت سالم ($\mu=0$) در بی باری در ژنراتور القایی دو سو تغذیه



شکل ۱۰ امپدانس دیده شده توسط رله امپدانس در صفحه R-X در حالت سالم ($\mu=0$) در بار کامل در ژنراتور القایی دو سو تغذیه



(الف)



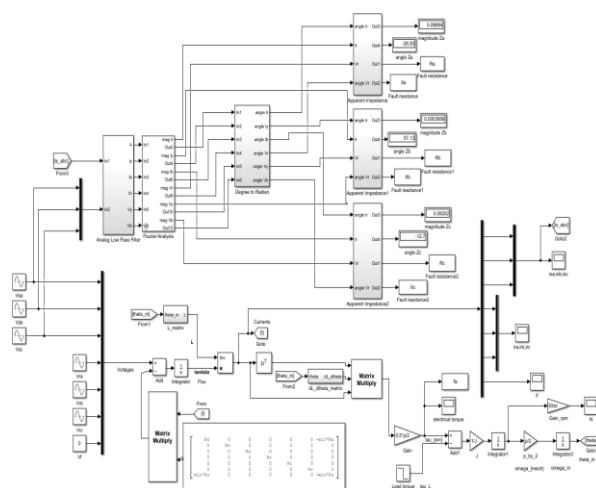
(ب)

شکل ۸ جریانه‌های استاتور در حالت اتصالی ۴۰٪ فاز استاتور ($\mu=0.4$) در ژنراتور القایی دو سو تغذیه

شبیه سازی حفاظت امپدانس توسط نرم افزار سیمولینک/متلب جهت ژنراتور القایی دو سو تغذیه

از آنجاییکه پس از بروز اتصالی در سیم پیچ استاتور ، شکل موجهای جریان و ولتاژ مغشوش می گردد ، نیاز است در رله حفاظتی امپدانس قرار داده شده بر روی ژنراتور دو سو تغذیه، جهت بدست آوردن فازور فرکانس اصلی سیگنالهای ولتاژ و جریان از تمهیداتی استفاده گردد . لذا رله مذکور به فیلترهای پایین گذر مجهز میگردد و سپس با استفاده از تبدیل فوریه گسسته سریع ، فازور فرکانس اصلی شکل موجهای جریان و ولتاژ که بعلت بروز خطا مغشوش گردیده اند ، استخراج می گردد [10],[11] .

شکل ۹ مدل شبیه سازی شده رله در نرم افزار سیمولینک/متلب که بر روی مدل شبیه سازی شده ژنراتور دو سو تغذیه در حالت اتصال حلقه بر روی فاز a استاتور قرار داده شده است را، به منظور انجام مطالعات حفاظتی نشان می دهد .



شکل ۹ مدل شبیه سازی شده ژنراتور القایی دو سو تغذیه تحت حفاظت رله امپدانس

رله پیشنهاد شده فاقد شرط کافی برای حفاظت سیم پیچ تک فاز استاتور در مقابل اتصال حلقه می باشد .

نتیجه گیری و جمع بندی

در این مقاله یک ژنراتور القایی دو سو تغذیه از نظر ساختار و مدل های ریاضی در شرایط خطای اتصال حلقه ، مورد بررسی قرار گرفت و مدل شبیه سازی مناسبی برای آن در نرم افزار سیمولینک/متلب ارائه گردید . برای حفاظت این ژنراتور در مقابل خطای اتصال حلقه در استاتور از یک مدل رله امپدانس شبیه سازی شده در متلب استفاده گردید .

نظر به اینکه نتایج استقرار مقادیر امپدانس ، مقاومت و راکتانس برای معرفی مشخصه رله امپدانس از روال مناسبی پیروی میکند ، شرط لازم برای تشخیص خطای مذکور توسط رله امپدانس با مشخصه مناسب ، بر آورده می شود لیکن با بررسی خط سیر انتهای بردار امپدانس در صفحه R-X مشخص می گردد که شرط کافی عدم عملکرد در حالت های سالم ژنراتور در مقادیر بارگیری متفاوت ، برآورده نمی شود و به عبارت دیگر رله معرفی شده در این حالت عملکرد کاذب خواهد داشت . لذا میتوان این نتیجه را گرفت که برای یافتن مشخصه مناسب عملکرد ، صفحه ای با نداشت متفاوت از صفحه مقاومت -راکتانس می بایستی جهت این مهم بررسی گردد.

فهرست علائم

i	جریان
L	اندوکتانس
R	مقاومت
t	زمان
X	راکتانس

علائم یونانی

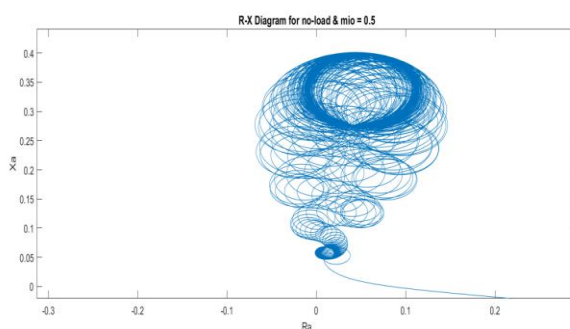
μ	نسبت سیم پیچ اتصال یافته به سیم پیچ فاز سالم
-------	--

زیر نویس

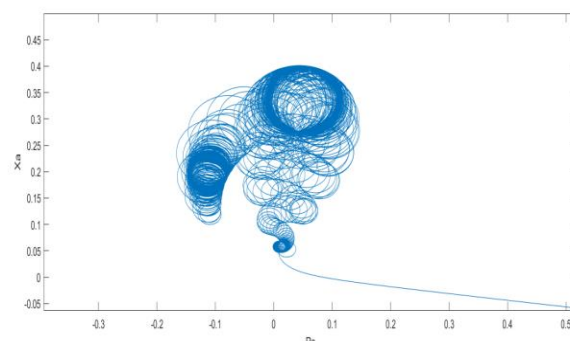
a, b, c	فاز ۳
r	روتور
s	استاتور

منابع و مراجع

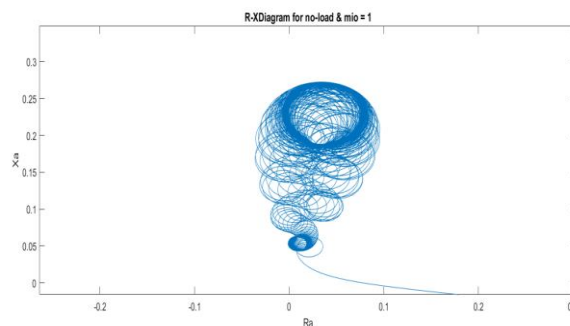
- [1] PhD thesis, E.Ibrahim. R. Assem, 2014." Low Voltage Ride-Through of Permanent Magnet Synchronous Generator Wind Energy Systems" University of Strathclyde Department of Electronic and Electrical Engineering.
- [2] Booklet, Gonzalo. Abad, Jesus. Lopez, Miguel A.Rodriguez, Luis. Marroyo, Grzegorz. Lwanski, 2011, "DOUBLY FED INDUCTION MACHINE, MODELING AND CONTROL FOR WIND ENERGY GENERATION ", ", IEEE Press Series



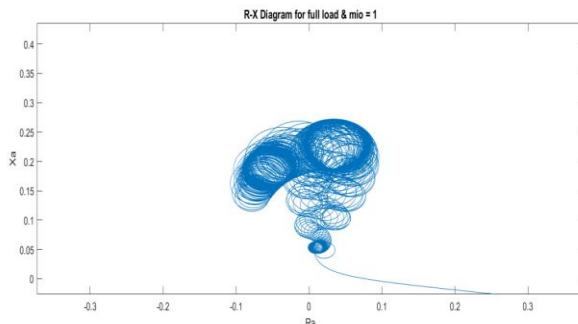
شکل ۱۱ امپدانس دیده شده توسط رله امپدانس در صفحه R-X در حالت $\mu=0.5$ در بی باری در ژنراتور القایی دو سو تغذیه



شکل ۱۲ امپدانس دیده شده توسط رله امپدانس در صفحه R-X در حالت $\mu=0.5$ در بار کامل در ژنراتور القایی دو سو تغذیه



شکل ۱۳ امپدانس دیده شده توسط رله امپدانس در صفحه R-X در حالت $\mu=1$ در بی باری در ژنراتور القایی دو سو تغذیه



شکل ۱۴ امپدانس دیده شده توسط رله امپدانس در صفحه R-X در حالت $\mu=1$ در بار کامل در ژنراتور القایی دو سو تغذیه

همچنانکه از اشکال فوق مشاهده میگردد ، خط سیر انتهای بردار امپدانس در صفحه مقاومت - راکتانس به گونه ای است که در حالت سلامت و در حالت بروز عیب در سیم پیچ استاتور نمی توان هیچ مشخصه رله امپدانس را در صفحه مقاومت-راکتانس تعریف نمود تا برای این دو حالت (سالم و خطا) تمایز ایجاد گردد . به عبارت دیگر

- [7] Author, Qian. Lu, 2011, " Fault Diagnosis and Fault Tolerant Control of DFIG Based Wind Turbine System ", PHD Thesis, Submitted to the University of Manchester, School of Electrical and Electronic Engineering,
- [8] Booklet, Paul C.Krause, 2010, "Analysis of Electric Machinery", McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, Electrical Engineering Series,
- [9] IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 3, no. 3, 1996. "Modeling and control of a multi-phase induction machine with structural unbalance,"
- [10] Author, J. LAMTURE, A. P. VAIDYA, , " DEVELOPMENT OF DISTANCE RELAY IN MATLAB", International Journal of Advanced Computational Engineering and, Networking, ISSN: 2320-2106, Volume-3, Issue-9, Sept.-2015
- [11] Author, A. Abdrahem , H. Sherwali, 2009, "Modeling of numerical distance relays using Matlab", IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications,
- on Power Engineering, Mohamed E.El-Hawary, Series Editor, A JOHN.WILEY & SONS, INC. PUBLICATION,
- [3] Author, P. Parasuraman, K. Sudheendra, V. V. Karthik and V. S. Kumar, 2014, " Performance Analysis of Power Swing In Distance Relay (Quadrilateral Relay) Characteristics for Series Compensated Transmission Line", International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 3, Special Issue 2, pp 272281, ISSN 2278 – 8875 Qiao . Wei , university of Nebraska – Lincoln, G. Harlay
- [4] Booklet, Ned. Mohan, 2014. " Advanced Electric Drives – Analysis, Control And Modeling Using MATLAB/Simulink" Mapping of grid faults and grid codes", John. Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada.
- [5] IEEE Trans. Power Electron., vol. 18, no.3, pp. 865-872, May 2003. , "A robust, online turn fault detection technique for induction machines based on monitoring the sequence component impedance matrix,"
- [6] Author Q. F. Lu, Z. T. Cao and E. Ritchie, 2004. "Modeling of stator inter-turn short circuit fault in doubly-fed induction generators for wind turbine", IEEE Power Electronics Specialists Conference, Aachen, Germany, pp. 932-937.