

بررسی اجزای لازم برای راه اندازی ماشین سوئیچ رلوکتانس دو استاتور در مد مولدی

محمدامین فصیحی زاده^۱، محمدعلی عباسیان^۲ و مجید دلشاد^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان، mfasihizade@gmail.com

۲. عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان، m_a_abbasian@yahoo.com

۳. عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان، delshad@khuisf.ac.ir

چکیده - مزایای ماشین سوئیچ رلوکتانس همچون ساختمان ساده، استحکام و تحمل پذیری بالا و توانایی عملکرد در سرعت های زیاد، آن را به یکی از انواع پرکاربرد ماشین های الکتریکی تبدیل نموده است. با وجود این، دو اشکال اساسی این ماشین، یعنی ریپل زیاد گشتاور و نویز صوتی آن، علاقه ی محققان را نسبت به ارائه ی ساختارهای بهینه تر آن برانگیخته است. از جمله ی این بهینه سازی ها، ماشین سوئیچ رلوکتانس دو استاتور (DSSRM) است که از طریق کاهش درصد نیروهای عمود بر حرکت ماشین، طراحی آن را بهبود می بخشد. کاربرد DSSRM در مد مولدی از جهت آن که با کاهش تولید مولفه ی شعاعی نیروهای الکترومغناطیسی داخلی در آن، نویز صوتی ماشین نیز کاهش یافته است؛ بر نوع عادی SRM در شرایطی که بر روی میزان آلودگی صوتی توربین محدودیت وجود داشته باشد، برتری می یابد. در این مقاله، به بررسی کلی بخش های مختلف مورد نیاز برای راه اندازی ماشین سوئیچ رلوکتانس دو استاتور در مد مولدی آن پرداخته شده است. کلید واژه- ژنراتور سوئیچ رلوکتانس، نویز صوتی، توربین بادی، ماشین سوئیچ رلوکتانس دو استاتور

نامی مبدل سیم پیچ روتور آن با مشکل روبرو است. [۱] از همین رو، گرایش به سمت استفاده از ماشین های الکتریکی دیگر، همچون مغناطیس دائم و سوئیچ رلوکتانس رو به رشد است. بهینه سازی های مختلفی بر روی ساختار این ماشین صورت گرفته که از آن جمله می توان به انواع دوروتوره و دو (چند) لایه ی آن اشاره کرد. [۲-۶] نوع خاصی از این ماشین نیز تحت عنوان «ماشین سوئیچ رلوکتانس دو استاتور» توسط محققان کشورمان ابداع و نمونه ی آزمایشگاهی آن نیز ساخته شده است. [۷]

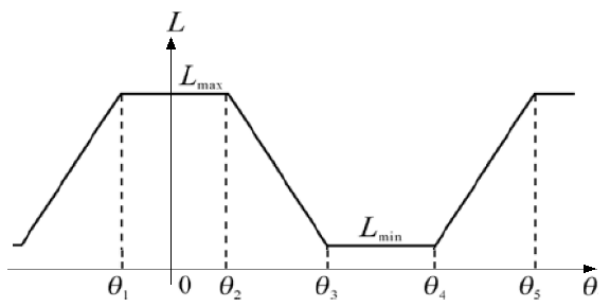
در صورتی که سرعت چرخش محرک اولیه ی ژنراتور سوئیچ رلوکتانس^۲ بالا باشد، می توان از آن در کاربردهای خودرو الکتریکی (هیبرید) و هواپیما استفاده نمود: در پژوهش [۸] به مزایای ماشین سوئیچ رلوکتانس که آن را برای کاربرد در

۱- مقدمه

امروزه اهمیت انواع مختلف انرژی و ضرورت صرفه جویی در مصرف آن بر کسی پوشیده نیست. در این میان، انرژی الکتریکی به دلیل کاربردهای فراوان آن و ارتباط ناگسستنی با زندگی افراد جلوه ی دیگری دارد. بکارگیری روش های تولید انرژی با استفاده از منابع تجدیدپذیر و همین طور توسعه ی کیفی تجهیزات تولید انرژی الکتریکی از راهکارهای کاهش هزینه ی تولید و توزیع انرژی الکتریکی، کاهش آلودگی و بهبود ارائه ی خدمات به مصرف کنندگان است. از جمله ی این منابع تجدیدپذیر، انرژی باد و استفاده از توربین های بادی است. در حال حاضر، ماشین های القایی دوسو تغذیه به صورت متداولی به عنوان مولد الکتریکی به کار می روند. با این حال، استفاده از آن ها به دو دلیل نیاز به بخش جعبه دنده- که در بسیاری از موارد گران و فاقد اطمینان پذیری بالاست- و محدودیت بر روی توان

می شوند، دیگر قطب های روتور با قطب های استاتور هم محور نیستند، و می توان به کمک یک مدار کنترل، زوج قطب ها را به ترتیب کلیدزنی نمود و به حرکت پیوسته ی موتور دست یافت. [۱۴]

شکل ۱ تغییرات اندوکتانس ماشین سوئیچ رلوکتانس را بر اساس موقعیت روتور برای سیم پیچی یک فاز، (با صرف نظر از اثر اشباع مغناطیسی و شار نشتی) نشان می دهد. جهت عملکرد ماشین سوئیچ رلوکتانس در مد مولدی، باید سیم پیچ های استاتور آن در بازه ی کاهش اندوکتانس (فاصله ی θ_2 تا θ_3 در نمودار شکل ۱) تحریک شود و یک گشتاور مکانیکی نیز به روتور آن اعمال شود. [۱۵] در حقیقت، در ماشین سوئیچ رلوکتانس، علاقه ای ذاتی برای هم راستایی قطب های روتور و استاتور وجود دارد و در صورتی که محرک اولیه بخواهد ماشین را از این حالت تعادل خارج سازد، یک گشتاور الکترومغناطیسی به وجود می آید که نتیجه ی آن القای یک نیروی ضد محرکه ی مغناطیسی است که در جهت افزایش ولتاژ عملی به سیم پیچ های فاز است. [۱۶]



شکل ۱- نمودار اندوکتانس بر حسب موقعیت زاویه ای روتور در حالت ایده آل و خطی [۱۵]

۳- ماشین سوئیچ رلوکتانس دو استاتور

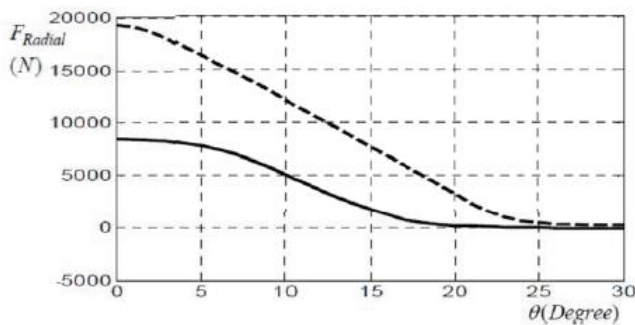
ماشین سوئیچ رلوکتانس دو استاتور یک ماشین رلوکتانسی است که بازده ی تبدیل انرژی بیش تری را نسبت به ماشین سوئیچ رلوکتانس معمولی داراست. شکل ۲ ساختار کلی این ماشین را نشان می دهد. استاتورهای خارجی و داخلی این ماشین به ترتیب در بیرون و درون یک روتور سیلندری توخالی

خودروه های الکتریکی جذاب می سازد، از جمله سادگی و پایداری مناسب آن، بازده ی بالا و توان خروجی بالا و تحمل پذیری بالایش در هنگام خطا اشاره می شود. در سرعت های متوسط و پایین نیز این امکان وجود دارد که از ژنراتور سوئیچ رلوکتانس برای تولید برق از طریق انرژی باد (توربین بادی) استفاده نمود. در همین راستا، مقاله ی [۹] به بررسی تولید انرژی الکتریکی از طریق نیروی باد و مزایا و معایب استفاده از SRG برای این منظور می پردازد. مولف، کاهش آلودگی هوا و اثرهای نامطلوب گازهای گلخانه ای را بر روی محیط زیست از عوامل رویکرد به سمت تولید انرژی از طریق منابع تجدیدپذیر می داند و اذعان می کند که تولید برق توسط انرژی باد از جمله ی روش های کاهش کربن دی اکسید موجود در جو و در واقع روشی سالم برای تولید انرژی است. سپس، به تجزیه و تحلیل استفاده از ماشین سوئیچ رلوکتانس در مد ژنراتوری آن برای مصارف توربین بادی در دو حالت اتصال مستقیم آن به توربین و نیز استفاده از جعبه دنده (به عنوان واسط) می پردازد. در مقاله ی حاضر نیز به مرور کلی بخش های لازم برای راه اندازی ماشین سوئیچ رلوکتانس دو استاتور در مد مولدی آن می پردازیم.

۲- ماشین سوئیچ رلوکتانس به عنوان مولد

ماشین سوئیچ رلوکتانس عبارت است از یک ماشین رلوکتانسی از دو طرف برجسته، با یک سری سیم پیچ تحریک متمرکز که روی قطب های یک طرف، و عمدتاً هم استاتور پیچیده شده است. [۱۲] اساس عملکرد SRM در مد موتوری بر پایه ی تمایل روتور آن به حرکت در جهتی است که کمترین رلوکتانس مغناطیسی را داشته باشد. هنگامی که یک جفت قطب از استاتور ماشین که روبروی هم قرار دارند، تحریک شوند؛ روتور با این قطب ها هم محور می شود [۱۳] و در واقع در لحظه ی تحریک سیم پیچ های استاتور، میدان مغناطیسی به گونه ای عمل می کند که قطعه ی دوار ماشین (روتور) به سمت موقعیتی جا به جا شود که در آن رلوکتانس می نیمم و اندوکتانس ماکسیمم باشد. از آن جایی که معمولاً در SRM تعداد قطب های روتور و استاتور نابرابر هستند، در موقعیتی که یک جفت قطب از روتور با یک جفت از قطب های استاتور هم محور

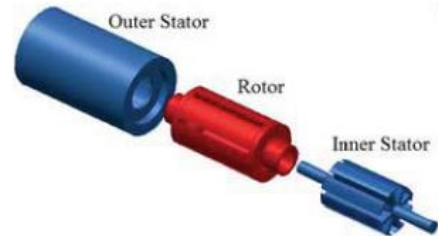
موقعیت‌های مختلف روتور، در شکل ۳ نشان داده شده است. مطابق شکل، استفاده از ماشین سوئیچ رلوکتانس دو استاتور در مقایسه با SRM عادی می‌تواند تا حدود ۶۰ درصد از تولید نیروهای شعاعی بکاهد. [۷]



شکل ۳- کل نیروی شعاعی ماشین به ازای جریان ۱۰ آمپر در موقعیت‌های مختلف روتور (خط پیوسته: DSSRM و خط چین: SRM) [7]

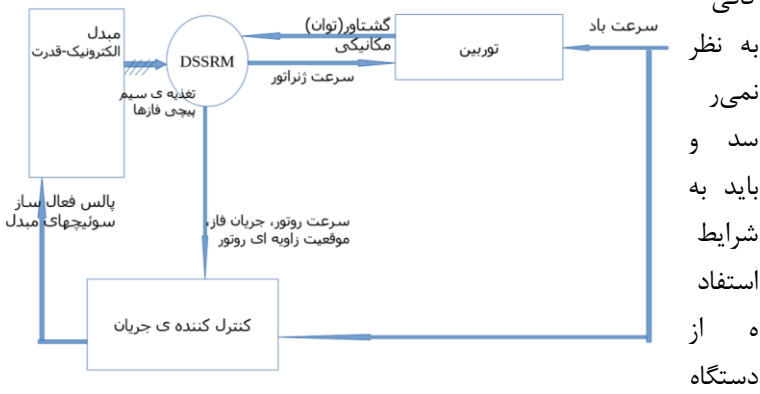
در طراحی سیستم‌های الکتریکی، خصوصاً تجهیزاتی که در دسترس عموم مردم است و یا در محیط زندگی آنان نصب می‌شود، توجه تنها به متغیرهای مؤثر بر عملکرد داخلی سیستم کافی

قرار دارند. هر دو استاتور این ماشین ساخته شده از ورقه‌های ماده‌ی فرومغناطیس M-19 است و چینش سیم پیچ‌های فاز بر روی هر دو استاتور داخلی و خارجی آن به صورت متمرکز است. روتور این ماشین نیز تشکیل شده از قطعات آهن ورقه شده است که توسط یک قفسه‌ی غیرمغناطیسی از جنس آلومینیوم کنار هم دیگر ثابت نگه داشته می‌شوند و یک ساختار پیوسته را برای روتور به وجود می‌آورند (البته بین قطب‌های روتور فاصله‌ی بزرگی وجود دارد که این فاصله با یک ماده‌ی غیرمغناطیس پر شده است). DSSRM نشان داده شده در شکل ۲، دارای ۸ قطب بر روی استاتور و تعداد ۶ قطب بر روی روتور است. [۷]



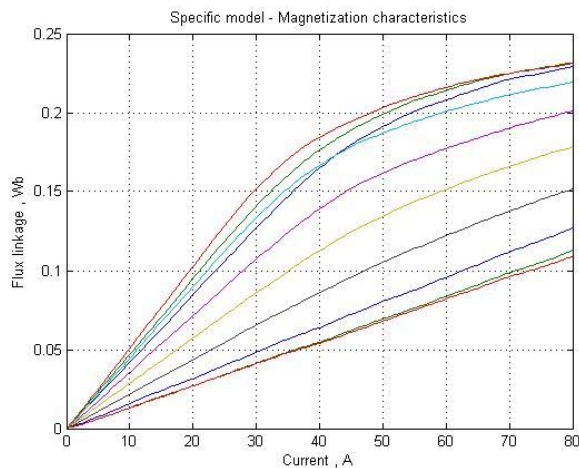
شکل ۲- ساختمان ماشین سوئیچ رلوکتانس دو-استاتوره (اطلاعات بیشتر در [۷])

بررسی نیروهای الکترومغناطیسی درون ماشین سوئیچ رلوکتانس نشان می‌دهد که بیش‌تر نیروهای تولید شده در آن عمود بر جهت حرکت روتور است که این صورت از نیروها، «نیروهای شعاعی» نامیده می‌شوند. بر طبق محاسبات انجام شده بر روی نمونه‌ی تقریباً مشابه از ماشین‌های سوئیچ رلوکتانس عادی و نوع دو استاتوره‌ی آن در پژوهش [۷]، کل نیروهای شعاعی تولیدی به ازای جریان ۱۰ آمپر بر روی موتورهای سوئیچ رلوکتانس دو استاتوره و سوئیچ رلوکتانس معمولی به ازای



ها و محیط کاربری آن نیز توجه شود. از مسائل محیطی مرتبط با توربین‌های بادی، مسأله‌ی نویز و سر و صدای تولید شده ناشی از عملکرد توربین و متعلقات آن است. با آن که توربین‌های بادی سر و صدای کمی دارند، اما کاهش بیش‌تر سر و صدای آن‌ها، خصوصاً در توربین‌های کوچک‌تر که در سرعت‌های نسبتاً بالاتری کار می‌کنند، شرایط را به وضعیت ایده‌آل

به منظور مدل سازی DSSRM به عنوان ژنراتور، از جایگزینی مشخصات آن در بلوک استاندارد SRM نرم افزار متلب کمک گرفته شده است. این بلوک توانایی شبیه سازی ماشین را برای سه ساختار ۶/۴، ۸/۶ و ۱۰/۸ آن داراست. از آن جایی که، یکی از وجوه تمایز ساختارهای مختلف ماشین سوئیچ رلوکتانس، مشخصه ی عملکرد الکترومغناطیسی آن ها است، پس از شبیه سازی مغناطیسی ماشین در نرم افزار مگنت، نمودار شار پیوندی بر حسب جریان فاز DSSRM برای مقادیر مختلف موقعیت زاویه ای روتور به دست آمد. در واقع، نقاط مشخصی در مدل استاتیکی ماشین در مگنت قرار داده شد و مشخصه ی ماشین به صورت تکه ای و به کمک درونیایی رسم گردید. محدوده ی زوایای به کار رفته در شبیه سازی مشخصه از ۰ تا ۳۰ درجه و محدوده ی جریانی آن نیز، از ۰ تا ۸۰ آمپر را شامل می شود. این نمودار را می توان در شکل ۵ مشاهده نمود.



شکل ۵- نمودار منحنی مشخصه ی ژنراتور سوئیچ رلوکتانس دواستاتوره

نزدیک تر می سازد. [۱۹] عوامل متعددی بر روی تولید نویز در توربین های بادی مؤثر هستند که در دو بعد مکانیکی و آیرودینامیکی جای می گیرند. نویز آیرودینامیکی از حرکت پره های توربین ناشی می شود و نویز مکانیکی نیز مولفه های مختلفی دارد، از جمله خود ژنراتور و جعبه دنده. نویز آیرودینامیکی را می توان از طریق تغییر زاویه ی گام پره ها و یا سرعت گردش آن ها کاهش داد؛ اما این موارد می توانند بر روی توان خروجی مولد مؤثر باشند. از طرفی ژنراتور سوئیچ رلوکتانس را می توان بدون جعبه دنده راه اندازی نمود. لذا، کاهش صدای تولیدی توسط خود ژنراتور احتمالاً می تواند تأثیر قابل توجهی بر روی کاهش آلودگی صوتی کل سیستم بگذارد. از آن جایی که نیروهای شعاعی در ماشین سوئیچ رلوکتانس عامل اصلی تولید نویز صوتی در آن هستند، استفاده از ماشین سوئیچ رلوکتانس دواستاتوره که میزان نیروی شعاعی تولیدی در آن کاهش یافته، می تواند بر کاهش نویز صوتی سیستم تأثیرگذار باشد و از این بعد طراحی سیستم بادی بر پایه ی مولد سوئیچ رلوکتانس را ارتقا بخشد. [۱۹]

۴- اجزای به کار رفته در کنترل کننده

شکل ۴ ساختمان کلی کنترل کننده ی ژنراتور سوئیچ رلوکتانس دواستاتوره را برای بکارگیری در یک توربین بادی نشان می دهد (البته می توان از یک محرک اولیه ی دیگر همچون ماشین القایی نیز استفاده نمود، اما استفاده از موتور القایی می تواند بر تلفات سیستم بیفزاید [۲۰]). همان طور که در شکل مشخص است، اجزای اصلی سیستم، ژنراتور، مبدل راه انداز،

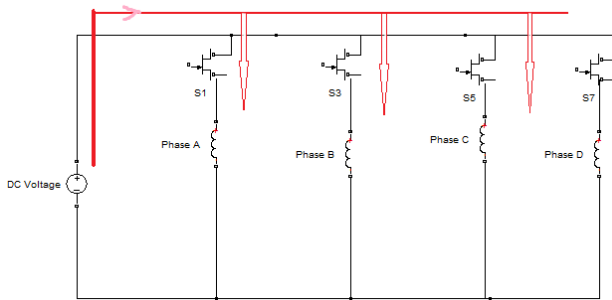
شکل ۴- صورت کلی سیستم کنترلی ژنراتور سوئیچ رلوکتانس دواستاتوره (برای استفاده در یک توربین بادی)

۴-۲- مبدل راه انداز و کنترل کننده ی جریان

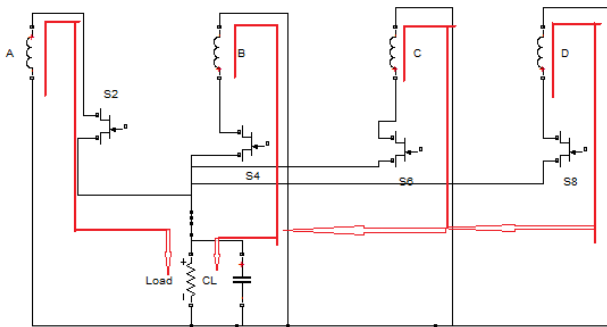
گرچه در کاربردهای ژنراتور سوئیچ رلوکتانس عمدتاً از مبدل نیم پل نامتقارن به طور متداولی استفاده می گردد؛ اما، ما در این

کنترل کننده ی جریان و توربین بادی (محرک اولیه) هستند.

۴-۱- مشخصه ی ماشین

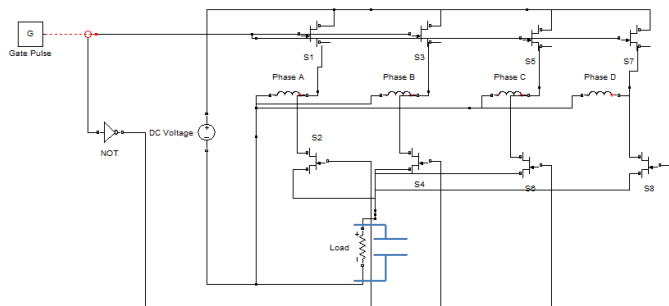


شکل ۷- بازه ی جریان دهی فازها



شکل ۸- بازه ی مولدی مبدل

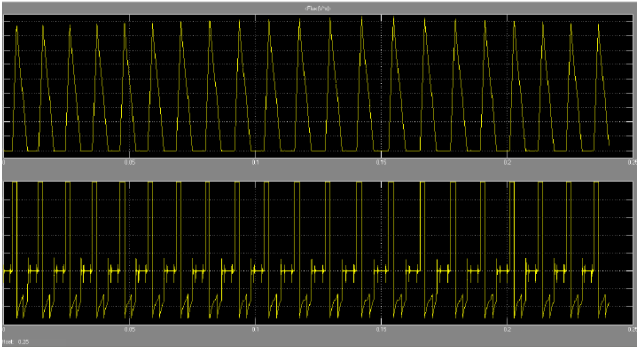
جا از مبدل مشابه دیگری جهت راه اندازی ماشین استفاده نمودیم. ساختار این مبدل در شکل ۶ دیده می شود. از آن جایی که سیستم ما مستقیماً به بار متصل است، با استفاده از ترانزیستور به جای دیودهای مبدل نیم پل، کنترل قطع و وصل جریان به نحوی صورت پذیرفته است که از ورود مستقیم جریان از سمت منبع به بار و یا بازگشت بخشی از جریان بار به سمت منبع جلوگیری به عمل آید و به عبارت دیگر، حسن این مبدل در جداسازی بار از منبع تغذیه ی DC ورودی است. طرز کار آن نیز (مطابق اشکال ۷ و ۸) بدین صورت است که برای هر فاز ماشین، دو کلید در نظر گرفته شده است، که هیچ گاه همزمان روشن نمی شوند و به کمک یک گیت NOT، به صورت الاکلنگی عمل می کنند. هنگامی که سیگنال فرمان از طریق کنترل کننده ی جریان صادر می شود، کلیدهای بالایی روشن می شوند و جریان را وارد فازهای استاتور می کنند. سپس، با طی بازه ی مورد نیاز برای تحریک فازها، کلیدهای بالایی خاموش می شوند و انرژی تولید و ذخیره شده در سیم پیچی های فاز از طریق کلیدهای پایینی، به بار منتقل می گردد.



شکل ۶- مبدل پیشنهادی

شکل ۹ نیز شمای واحد کنترل جریان را نشان می دهد. همان طور که از شکل برمی آید، سرعت زاویه ای ماشین و مقدار جریان مرجع و زوایای قطع و وصل به عنوان ورودی به واحد کنترل داده می شود. یک انتگرال گیر گسسته که مقادیر اولیه ی آن بر روی صفر، 15-، 30-، و 45- تنظیم شده است، از روی سرعت ماشین مکان زاویه ای روتور را در دسترس قرار می دهد. پس از آن باید، به جریان فاز شکل داد. در این کار از دو مقایسه گر، فیدبک جریان و یک گیت AND برای تولید پالس تحریک جریان فاز استفاده شده است. بدین شکل که با شروع بازه ی جریان دهی که با زاویه ی وصل مشخص می شود، جریان دهی به سیم پیچی فاز ژنراتور شروع می شود و مقدار آن توسط یک باند هیستریزس در حوالی مقدار جریان مرجع مورد

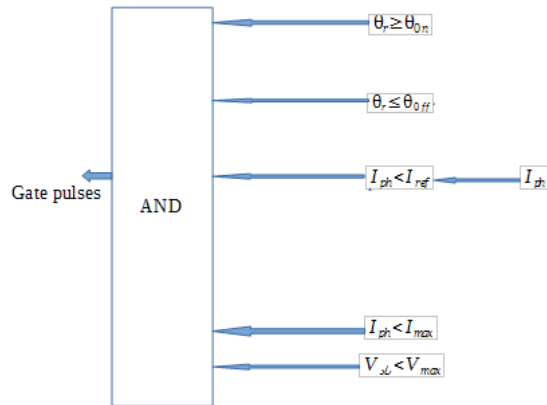
شکل ۱۰- جریان نوعی تحریک (شکل بالایی) و جریان نوعی بار (شکل پایینی) ژنراتور سوئیچ رلوکتانس دو استاتور



شکل ۱۱- نمودار نوعی شار پیوندی (شکل بالایی) و ولتاژ (شکل پایینی) ژنراتور سوئیچ رلوکتانس دو استاتور

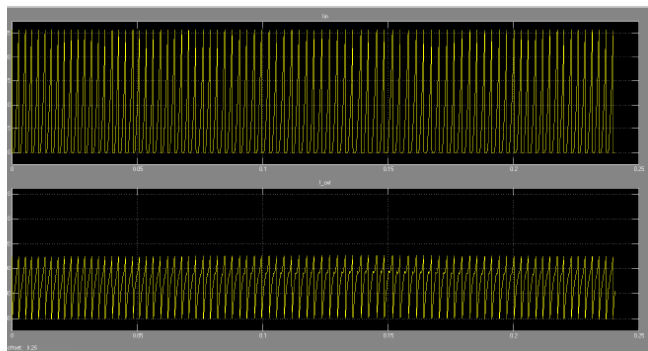
یک نمونه جریان نوعی ورودی به خروجی بار ژنراتور در شکل ۱۰ آمده است. در این شبیه سازی مقدار مقاومت فاز در مدل متلب برابر ۰/۰۳ انتخاب شده و مقادیر اینرسی و اصطکاک بدون تغییر مانده اند که البته مقادیر دقیق آن ها قدری متفاوت است. این جریان ها در سرعت باد ۸ m/s و با فرض سرعت نامی ۱۹۰ رادیان بر ثانیه برای ژنراتور برای یک بار RC کوچک و یک توربین با توان مکانیکی نامی ۴۰۰۰ وات به دست آمده است. همان طور که می توان پیش بینی نمود، با افزایش جریان در بازه ی تحریک فازها، جریان وارد سیم پیچی استاتور می شود و با پایان یافتن بازه ی تحریک، جهت جریان در بازه ی مولدی معکوس می شود و در حقیقت انرژی تولید شده به بار منتقل می گردد. بیش تر بودن مقدار جریان بار نسبت به جریان ورودی تحریک نیز نشان دهنده ی اضافه شدن توان تولیدی توسط توربین به آن است. شار پیوندی نوعی و ولتاژ نوعی ژنراتور نیز در شکل ۱۱ آمده اند. در صورتی که بخواهیم مقادیر واقعی متغیرهای مختلف سیستم را به دست آوریم، باید مقادیر دقیق متغیرهای مکانیکی ماشین و نیز متغیرهای نامی آن را به بلوک های کنترل کننده و بلوک مشخصه ی ماشین بدهیم (اطلاعات بیش تر در مرجع [۷] و نیز از طریق مکاتبه با نویسنده ی مقاله ی حاضر).

نظر ثابت می ماند. قطع جریان دهی و شروع بازه ی تخلیه ی انرژی تولید شده درون بار نیز با زاویه ی قطع آغاز می گردد. دو محدودکننده ی جریان نیز یکی برای محدود کردن حداکثر جریان سیم پیچ فاز و دیگری بر اساس محافظت از عملکرد ماشین در سرعت های بسیار بالای باد به سیستم اضافه گردیده است (البته می توان یک بخش نیز جهت بهینه سازی زوایای قطع و وصل تحریک فازها و تنظیم جریان مرجع بر اساس هدف کنترلی مورد نظر به کنترل کننده ی جریان افزود).



شکل ۹- دیاگرام ساده ای از واحد کنترل جریان

۶- شبیه سازی



Transactions on Energy Conversion, Vol. 25, No. 3, 589_597, 201

۷- نتیجه‌گیری

[۸] Jawad Faiz, K. Moayed-Zadeh. "Design of switched reluctance machine for starter/generator of hybrid electric vehicle", Electric Power Systems Research 75(2005), 153-160

در این مقاله بخش‌های مختلف لازم برای راه اندازی ماشین سوئیچ رلوکتانس دو استاتور در مد ژنراتوری به صورت کلی مورد بررسی قرار گرفت. همین‌طور به برخی مزایای استفاده از ماشین سوئیچ رلوکتانس دو استاتور برای بکارگیری در توربین‌های بادی اشاره گردید. مشخصه‌ی شار پیوندی تقریبی ماشین به دست آمد و یک مبدل برای راه اندازی آن در مد مولدی ارائه گردید و نهایتاً جریان و ولتاژ نوعی ژنراتور به تصویر کشیده شد.

[۹] Eleonora Darie, Costin Cepisca, Emanuel Darie. "Advantages of using a Switched Reluctance Generator (SRG) for wind energy applications", Available from: [https://www.researchgate.net/publication/229021239_Advantages_of_using_a_Switched_Reluctance_Generator_\(SRG\)_for_wind_energy_applications](https://www.researchgate.net/publication/229021239_Advantages_of_using_a_Switched_Reluctance_Generator_(SRG)_for_wind_energy_applications)

مراجع

[۱۰] Zhenguo Li, Siyang Yu, Jin-Woo Ahn. "High-efficiency Operation of Switched Reluctance Generator based on Current Waveform Control", Journal of International Conference on Electrical Machines and Systems, Vol. 2, No. 1, 120_126, 2013

[۱] He Yikang, Hu Jiabing, Zhao Rende. "Modeling and control of wind-turbine used DFIG under network fault conditions", Proceedings of the Eighth IEEE International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS 2005), Vol. 2, 986_991, 2005

[۱۱] Abdullah M.A., Yatim A.H.M., Tan C.W. et al. "A review of maximum power point tracking algorithms for wind energy systems", Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012), 3220- 3227

[۲] Ebrahim Afjei, Alireza Siadatan, Hossein Torkaman. "Analytical Design and FEM Verification of a Novel Three-Phase Seven Layers Switched Reluctance Motor", Progress in Electromagnetics Research, Vol. 140, 131_146, 2013

[۱۲] جیمی جی. کتی، «ماشین‌های الکتریکی آنالیز و طراحی با Matlab» ترجمه‌ی محمدرضا بسمی، تهران: مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شاهد، ۵۷۴ صفحه، ۱۳۸۹

[۳] C. A. Vaithilingam, N. Mison, I. Aris et al. "Electromagnetic Design and FEM Analysis of a Novel Dual-Air-Gap Reluctance Machine", Progress in Electromagnetics Research, Vol. 140, 523_544, 2013

[۱۳] Jin-Woo Ahn, "Switched Reluctance Motor", InTechOpen, Available from: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/13717.pdf>

[4] Teng Guo, 2014, Double Rotor Switched Reluctance Machine with Segmented Rotors. M.Sc thesis, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada

[۱۴] رامو کریشنان، درایوهای موتور سوئیچ رکتانس، ترجمه‌ی م. سقائیان نژاد، ا. رشیدی، مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، ۵۳۸ صفحه، ۱۳۸۹

[5] C. A. Vaithilingam, N. Mison, M. R. Zare et al. "Computation of Electromagnetic Torque in a Double Rotor Switched Reluctance Motor Using Flux Tube Methods", Energies, 2012, 5, 4008_4026

[۱۵] Eleonora Darie, Costin Cepisca, Emanuel Darie. The Use of Switched Reluctance Generator in Wind Energy Applications, InTechOpen, Available from <http://www.intechopen.com/books/renewable-energy/the-use-of-switched-reluctance-generator-in-wind-energy-applications>

[6] M. Asgar, E. Afjei, M. M. Mahmoodi et al. "Modelling and Simulation of a 16/12 Double Stator Switched Reluctance Motor", Cumhuriyet Science Journal, 2015, Vol. 36, No.3, 2097_2106

[۷] M. Abbasian, M. Moallem, B. Fahimi, Double-Stator Switched Reluctance "Machines (DSSRM): Fundamentals and Magnetic Force Analysis", IEEE



چهارمین کنفرانس ملی ایده‌های نو در مهندسی برق



۱۳۹۴-۲۰ آبان ماه - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

[۱۶] محمدرضا فیضی، کامران خفافی. ماشین‌های الکتریکی مخصوص، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تبریز، 364 صفحه، 1387

[17] European Commission, “Science for Environment Policy (Wind Energy: Towards Noiseless Turbines)”, Available from: http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/300na5_en.pdf

[۱۸] محمد صدیق طولابی، حسین ترکمن، سید ابراهیم افجه‌ای. روشی جدید در استفاده از توربین بادی به عنوان **prime mover** در ژنراتور سوئیچ رلوکتانسی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس نیروگاه های برق (قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره))، صص ۶۶-۷۸، ۱۳۸۷