بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه سمنان
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت

تشخیص خطای قطع تحریک در ژنراتورهای القایی دوسو تغذیه با استفاده از شار پیوندی

دانشجو:

امین گودرزی

استادراهنما:

دکتر حمید یعقوبی

مهر ۱۳۹۳

تقدیم به روح پدرم که گرچه در بین ما نیست اما چهره خندان و حضور

گرمش را همواره کنار خود حس می کنم،

تقدیم به مادر مهربانم که فداکاری‌هایش را هیچگاه فراموش نخواهم کرد.

اکنون که به لطف خدا این دوره تحصیلی را به پایان رسانده‌ام بر خود

فرض می‌دانم که از **جناب آقای دکتر حمید یعقوبی**

که حمایت‌های ویژه‌ی ایشان مایه‌ی دلگرمی و راهنمایی‌های ایشان امید

مضاعف برای پیشبرد پرسرعت تحقیقات بود تشکر کنم.

چکیده

با پیشرفت صنعت و افزایش نیاز به انرژی، استفاده از انرژی باد بعنوان یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر، ضروری است. به منظور افزایش سطح اطمینان در سیستم‌های انرژی بادی لازم است تا انواع خطاها در شبکه و ژنراتور مورد مطالعه قرار گیرند. در این پایان‌نامه خطای قطع تحریک بعنوان یکی از خطاهای رایج در ژنراتور تحلیل شده و روش‌های شناسایی این خطا مورد بررسی قرار گرفته است. سپس عملکرد توربین بادی مجهز به ژنراتور القایی دوسو تغذیه در شرایط قطع تحریک ژنراتور، در محیط نرم افزاری Matlab/Simulink شبیه‌سازی شده و پیامدهای منفی عملکرد ژنراتور در این شرایط روی توان تولیدی، ولتاژ خروجی و شار پیوندی استاتور تحلیل شده است. در ادامه جدیدترین روش برای شناسایی خطای قطع تحریک در ژنراتور القایی دوسو تغذیه، بر مبنای تغییرات شار مغناطیسی پیوندی استاتور در فاصله هوایی ارائه شده و به منظور نشان دادن کارایی این روش، اندازه‌های مختلف برای ژنراتور و شرایط متنوع برای بار، در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که شار استاتور در تمام حالات رفتار یکسانی دارد و بعنوان یک معیار جدید برای شناسایی خطای قطع تحریک روش موثر و مفیدی می‌باشد که از سرعت و دقت بالاتری نسبت به روش‌های مرسوم برخوردار است.

کلمات کلیدی: خطای قطع تحریک، شار پیوندی استاتور، ژنراتور بادی، ژنراتور القایی دوسو تغذیه.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- انگیزه تحقیق ۴

۱-۳- اهداف پایان‌نامه ۵

۱-۴- ساختار پایان‌نامه ۷

فصل ۲- انواع ژنراتورهای بکاررفته در توربین‌های بادی ۹

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- دسته بندی ژنراتورها ۱۰

۲-۲-۱- ژنراتورهای سنکرون ۱۲

۲-۲-۱-۱- ژنراتور سنکرون رتور سیم پیچی شده ۱۲

۲-۲-۱-۲- ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم ۱۲

۲-۲-۲- ژنراتورهای القایی ۱۴

۲-۲-۲-۱- ژنراتور القایی قفس سنجابی ۱۴

۲-۲-۲-۲- ژنراتور القایی رتور سیم پیچی شده ۱۶

۲-۲-۲-۳- ژنراتور القایی لغزش بهینه ۱۷

۲-۲-۲-۴- ژنراتور القایی دوسو تغذیه ۱۸

۲-۳- مقایسه ژنراتورهای بکار رفته در صنعت انرژی بادی ۱۹

فصل ۳- توربین بادی مجهز به ژنراتور القایی دوسو تغذیه ۲۱

۳-۱- مقدمه ۲۲

۳-۲- شناسایی ترکیب توربین-ژنراتور ۲۲

۳-۲-۱- اصول توربین‌های بادی ۲۳

۳-۳- شناسایی ژنراتور القایی دوسو تغذیه ۲۶

۳-۳-۱- مبدل سمت رتور و مبدل سمت شبکه ۲۸

۳-۳-۲- چگونگی تولید گشتاور در DFIG ۲۸

۳-۳-۳- شارش توان در DFIG ۲۹
۳-۳-۴- معادلات و روابط حاکم بر ژنراتور القایی دوسو تغذیه ۳۱
۳-۳-۴-۱- مدل مرتبه کامل ژنراتور القایی ۳۲
۳-۳-۴-۲- مدل‌های کاهش یافته ۳۴

فصل ۴- خطای قطع تحریک و روش‌های شناسایی آن ۳۶

۴-۱- مقدمه ۳۷
۴-۲- حفاظت ژنراتورها در مقابل خطای قطع تحریک ۳۷
۴-۳- بررسی تحقیقات انجام شده ۳۸
۴-۳-۱- تشخیص خطای قطع تحریک در ژنراتور سنکرون با استفاده از شار پیوندی ۴۲
۴-۳-۱-۱- تغییرات توان در حین بروز خطای LOE در ژنراتور سنکرون ۴۴
۴-۳-۲- تحلیلی بر وضعیت DFIG در شرایط بروز خطای قطع تحریک ۴۶
۴-۳-۲-۱- نتایج برای حالت PLOE ۴۷
۴-۳-۲-۲- نتایج برای حالت CLOE ۵۱
۴-۳-۲-۳- تحلیل‌های ارائه شده برای شناسایی خطای قطع تحریک ۵۳

فصل ۵- شبیه‌سازی خطای قطع تحریک بر روی DFIG و تحلیل نتایج ۵۶

۵-۱- مقدمه ۵۷
۵-۲- نتایج شبیه‌سازی در شرایط پایدار ۶۰
۵-۳- نتایج شبیه‌سازی در صورت بروز خطای قطع تحریک ۶۲
۵-۳-۱- نحوه اعمال شرایط مختلف به ژنراتور و بار ۶۶
۵-۳-۲- پیامدهای منفی بروز خطای قطع تحریک روی توان تولیدی ژنراتور ۶۸
۵-۳-۳- تغییرات شار استاتور پس از وقوع خطای قطع تحریک ۷۱
۵-۴- مقایسه با مقالات گذشته ۷۴

فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۷

۶-۱- نتیجه‌گیری ۷۸
۶-۲- پیشنهادات ۸۰

مراجع ۸۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: سیر صعودی استفاده از انرژی باد در سال‌های اخیر[۲] ۳
شکل ۲-۱: انواع ژنراتورهای AC رایج در نیروگاه‌های بادی ۱۰
شکل ۲-۲: ساختار توربین و ژنراتور سنکرون رتور سیم‌پیچی شده و مغناطیس دائم[۴] ۱۳
شکل ۲-۳: ساختار کلی توربین و ژنراتور القایی قفس سنجابی[۴] ۱۵
شکل ۲-۴: ساختار کلی توربین و ژنراتور القایی رتور سیم‌پیچی شده[۴] ۱۷
شکل ۲-۵: ساختار کلی توربین و ژنراتور القایی دوسو تغذیه[۴] ۱۸
شکل ۳-۱: بسته هوای در حال حرکت با سرعت u [۵] ۲۴
شکل ۳-۲: نمودار توان توربین بر حسب سرعت باد [۵] ۲۶
شکل ۳-۳: ژنراتور القایی دوسو تغذیه و مبدل های قدرت[۶] ۲۷
شکل ۳-۴: شارش توان در DFIG در حالت فوق سنکرون[۷] ۳۰
شکل ۳-۵: شارش توان در DFIG در حالت زیر سنکرون[۷] ۳۱
شکل ۳-۶: نحوه قرارگیری سیم پیچ های استاتور و رتور در یک ماشین القایی[۸] ۳۱
شکل ۳-۷: نحوه قرارگیری سیم‌پیچ‌های استاتور و رتور روی محورهای d و q [۸] ۳۲
شکل ۴-۱: منحنی کار رله قطع تحریک در دیاگرام R-X [۱۶] ۳۹
شکل ۴-۲: منحنی کار رله قطع تحریک در دیاگرام R-X با سه المان [۱۶] ۴۰
شکل ۴-۳: نحوه قرار گرفتن سیم‌پیچ روی دندانه استاتور[۱۹] ۴۳
شکل ۴-۴: نمای کلی از سیم‌پیچ و نحوه القاء ولتاژ در آن[۱۹] ۴۴
شکل ۴-۵: تغییرات توان اکتیو و راکتیو در ژنراتور سنکرون پس وقوع خطا[۱۹] ۴۵
شکل ۴-۶: تغییرات شار و ولتاژ خروجی در ژنراتور سنکرون پس وقوع خطا[۱۹] ۴۵
شکل ۴-۷: مقدار متوسط شار برای ژنراتور سنکرون در سه اندازه متفاوت[۱۹] ۴۶
شکل ۴-۸: ترکیب کلی توربین- ژنراتور DFIG متصل به شبکه[۲۲] ۴۷
شکل ۴-۹: ولتاژ لینکDC در شرایط بروز PLOE [۲۲] ۴۸
شکل ۴-۱۰: جریان رتور در شرایط بروز PLOE [۲۲] ۴۸
شکل ۴-۱۱: گشتاور مکانیکی و گشتاور الکترومغناطیسی در شرایط بروز PLOE [۲۲] ۴۹

شکل ۴-۱۲: تغییر توان اکتیو در شرایط بروز PLOE [۲۲] ۴۹
شکل ۴-۱۳: تغییر توان راکتیو در شرایط بروز PLOE [۲۲] ۵۰
شکل ۴-۱۴: ولتاژ گره در شرایط بروز PLOE [۲۲] ۵۰
شکل ۴-۱۵: تغییرات جریان رتور در شرایط بروز CLOE [۲۲] ۵۱
شکل ۴-۱۶: تغییر توان راکتیو در شرایط بروز CLOE [۲۲] ۵۲
شکل ۴-۱۷: تغییر توان اکتیو در شرایط بروز CLOE [۲۲] ۵۲
شکل ۴-۱۸: ولتاژ گره در شرایط بروز CLOE [۲۲] ۵۳
شکل ۴-۱۹: دیاگرام شناسایی خطای قطع تحریک[۲۲] ۵۴
شکل ۵-۱: نمایی از شبیه‌سازی ژنراتور القایی دوسو تغذیه و اجزای همراه ۵۷
شکل ۵-۲: اتصال مجموعه توربین و ژنراتور DFIG به بار و شبکه ۵۹
شکل ۵-۳: جریان رتور در شرایط کار پایدار ۶۰
شکل ۵-۴: ولتاژ استاتور در شرایط کار پایدار ۶۰
شکل ۵-۵: توان اکتیو و راکتیو در شرایط کار پایدار ۶۱
شکل ۵-۶: شار استاتور در شرایط پایدار ۶۲
شکل ۵-۷: تغییرات جریان رتور در شرایط خطا ۶۳
شکل ۵-۸: تغییرات ولتاژ استاتور در شرایط خطا ۶۴
شکل ۵-۹: تغییرات توان اکتیو و راکتیو در شرایط خطا ۶۵
شکل ۵-۱۰: تغییرات شار استاتور در شرایط خطا ۶۶
شکل ۵-۱۱: منحنی قابلیت توان ژنراتور القایی دوسو تغذیه [۲۴] ۶۷
شکل ۵-۱۲: تغییرات توان اکتیو و راکتیو پس از وقوع خطا قطع تحریک برای DFIG با توان‌های ۱/۵MW و ۳MW متصل به بار متوسط ۶۹
شکل ۵-۱۳: تغییرات شار استاتور پس از وقوع خطای قطع تحریک برای DFIG با ظرفیت‌های ۱/۵MW و ۳MW متصل به بار متوسط ۷۱
شکل ۵-۱۴: دیاگرام کلی روش پیشنهادی برای شناسایی خطای قطع تحریک ۷۳

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول۵-۱: پارامترهای مربوط به ژنراتور القایی دوسو تغذیه ۵۸
جدول۵-۲: پارامترهای مربوط به مبدل‌های قدرت.....۵۸
جدول۵-۳: پارامترهای مربوط به خط انتقال و شبکه سراسری.....۵۹
جدول۵-۴: میزان افت توان راکتیو و افت ولتاژ پریونیت در حالات مختلف پس از وقوع خطا.....۷۰
جدول۵-۵: درصد افت شار پیوندی استاتور در حالات مختلف پس از وقوع خطای قطع تحریک.....۷۲
جدول۵-۶: مقایسه روش پیشنهادی با روش رله‌های امپدانسی برای شناسایی خطای قطع تحریک.....۷۵

فصل ۱– مقدمه

۱-۱- مقدمه

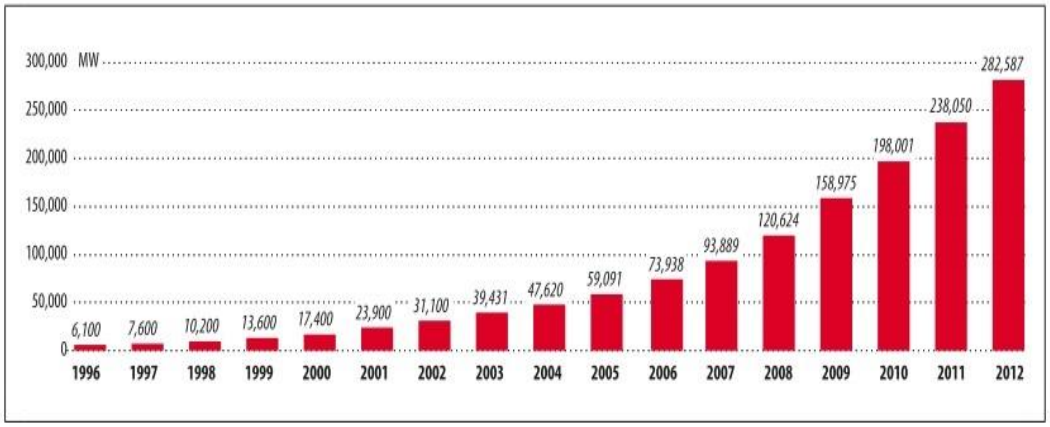
باد در حقیقت هوای در حرکت است و عامل بوجود آورنـده آن خورشـید اسـت کـه زمـین را بـه صورت یکنواخت گرم نمی‌کند. این شرایط باعث می‌شود که خشکی‌ها سریع‌تر از دریاهـا سـرد و گـرم شوند به طوری که محل تلاقی خشکی و آب محل مناسبی برای تشکیل باد است. بشر از ۵۰۰۰ سـال قبل با انرژی باد آشنا بوده است و از آن برای دریانوردی و بادبان کشتی‌ها استفاده کرده و سپس ایـن انرژی را در آسیاب‌های بادی به کار گرفته است. در قرون اخیر و بخصوص پس از انقلاب صنعتی اروپـا کاربردهای بیشتری برای بهره‌گیری از این انرژی پیدا شده است. آنچه که بشر را بسیار مشتاق می‌کند که روی بهره‌گیری از این انرژی تمرکز و سرمایه‌گذاری کند، تجدید پذیر بودن، رایگان بودن و از همـه مهم‌تر عدم ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی است. در قبال این مزایا نقطه منفـی آن بـه عنـوان یـک منبع انرژی این است که نمی‌توان روی پایداری و پیوستگی آن حساب کرد. یکی از مسائل مـرتبط بـا تغییر در قدرت نیروی باد قابلیت پیش‌بینی آن است. چرا که برای انرژی باد نیز بایسـتی ماننـد سـایر منابع تولید انرژی الکتریکی برنامه‌ریزی کنیم که در این مورد از روش‌های خاص پیش‌بینی نیروی بـاد استفاده می‌شود.

امروزه اصلی‌ترین کاربرد انرژی باد در تولید الکتریسیته است و تا زمانی که خورشید بتابد باد نیـز وجود دارد. وقتی باد می‌وزد و به پره‌های توربین فشار می‌آورد باعث چرخش آنها می‌شود. توربین‌هـای بادی با پره‌های بزرگ برای تسخیر انرژی جنبشی باد استفاده می‌شوند. این موجب تولید برق بوسـیله یک توربین و ژنراتور بادی می‌شود. فناوری استفاده از انرژی باد پیشرفت زیادی داشته است و هـر روز فناوری ساخت توربین‌های بـادی و تجهیـزات الکتریکـی آن در جهـت هرچـه اقتصـادی‌ترشـدن آن و افزایش بهره‌وری پیشرفت می‌کند.

بطور معمول نیروگاه‌های بادی بزرگ به شبکه انتقال برق محلی متصل هسـتند و از تـوربین‌هـای کوچک برای تامین انرژی مناطق دورافتاده استفاده می‌شوند. مناطق دور افتاده که پیش از ایـن بـرای تامین برق به ژنراتورهای دیزلی وابسته بوده‌اند می‌توانند به جای مصرف سوخت دیـزل از توربین‌هـای بادی کمک بگیرند. از طرفی در تولید انرژی الکتریکی از باد، هزینه چندانی صـرف تعمیـر و نگهـداری نمی‌شود و به بیان اقتصادی هزینه‌های حاشیه‌ای ناچیز و هزینه سرمایه‌ای بالایی دارد. در واقع هزینـه متوسط برآورد شده برای هر واحد، دربرگیرنده هزینه ساخت توربین و امکانات انتقال نیرو است. با این

حال از منظر ارزش اقتصادی، انرژی باد به یکی از مهم‌ترین بازیگران در صحنه بازارهای انـرژی مبـدل شده است[۱].

از آنجا که سوخت‌های فسیلی هر روز با مصرف بیشتری روبرو می‌شوند و نیاز به انرژی الکتریکـی نیز در حال افزایش است، شرکت‌های تامین انرژی را بـرآن داشـته اسـت کـه اسـتفاده از انـرژی‌هـای تجدیدپذیر همچون باد، خورشید و زمین‌گرمایی را بیش از پیش مورد توجه قرار دهنـد. در سـال‌هـای اخیر، تولید برق مبتنی بر انرژی باد توجهات زیادی را در سراسـر جهـان بـه خـود جلـب کـرده اسـت بطوری که مطابق شکل ۱-۱ تا پایان سال ۲۰۱۲ کل ظرفیت نصب شـده انـرژی بـادی در جهـان بـه ۲۸۲/۵ گیگاوات رسیده است[۲].



شکل ۱-۱: سیر صعودی استفاده از انرژی باد در سال‌های اخیر[۲]

میزان تولید کل توربین‌های بادی نصب شده در سراسر دنیا تا پایان سـال ۲۰۱۲، در حـدود ۵۸۰ تراوات ساعت در سال می‌باشد که بیش از ۳٪ از کل برق مصرفی جهان را تامین می‌کند و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که این سهم تا سال ۲۰۲۰ به ۱۲٪ می‌رسد[۲].

تولید انرژی بادی با سایر انواع تولیدات انرژی الکتریکی بسیار متفاوت بوده و عمده این تفـاوت در وابستگی بسیار شدید واحد بادی به تغییرات سرعت باد است. این عامل باعث می‌شود که تخمین کاملا دقیقی از میزان تولید انرژی الکتریکی در هر زمان وجود نداشته باشد اما میزان تولید انرژی الکتریکـی از طریق نیروگاه بادی در طی زمان مشخص و نسبتا بلند با تقریب خوبی قابل محاسبه است. مطالعات

و محاسبات انجام شده در زمینه تخمین پتانسیل انرژی باد در ایران نشان داده است که تنها در ۲۶منطقه کشور که قابلیت نصب توربین‌های بادی را دارا می‌باشند میزان ظرفیت نامی با درنظرگرفتن راندمان کلی ۳۳٪، تا۱۵۰۰۰مگاوات قابل افزایش است[۳].

این در شرایطی است که بدانیم ظرفیت نامی همه نیروگاه‌های تولید برق در کشور در حال حاضر در حدود ۸۰۰۰۰ مگاوات می‌باشد. در کشور ما نیز با توجه به وجود مناطق بادخیز، شرایط مناسبی جهت توسعه استفاده از انرژی باد فراهم شده است.

۱-۲- انگیزه تحقیق

نیروگاه بادی مهم‌ترین روش استفاده از انرژی تجدیدپذیر باد است و با پیشرفت‌هایی که در این زمینه حاصل شده توربین‌های بزرگ‌تر و ژنراتورهای پیشرفته‌تری ساخته شده‌اند. این پیشرفت‌ها باعث شده‌اند تا با بهبود روش‌های استحصال انرژی الکتریکی از باد، نیروگاه بادی نیز نقش زیادی در تامین انرژی الکتریکی داشته باشد. یکی از رایج‌ترین و بروزترین ساختارهای توربین‌های بادی سرعت متغیر، توربین بادی مجهز به ژنراتور القایی دوسو تغذیه[1] است که از مزایای آن می‌توان راندمان بالا و قابلیت کنترل توان در محدوده وسیع را نام برد.

با توجه به شرایط اقتصادی و همین‌طورهزینه بالای نصب و راه‌اندازی تجهیزات مرتبط با آن، بایستی انرژی الکتریکی حاصل از این سیستم از کیفیت توان مناسب و سطح اطمینان قابل قبولی برخوردار باشد تا شاهد بازدهی اقتصادی کافی از آن باشیم. در حال حاضر تحقیقات و کارهای عملی زیادی به این منظور انجام شده است که در بیشتر این تحقیقات روی مسائل کنترل توان و گشتاور در سیستم توربین-ژنراتور و شرایط ناشی از خطاهای رخ داده در شبکه تمرکز شده است و تبعات احتمالی بروز خطاهایی مثل اتصال کوتاه در شبکه و تاثیر آن روی ماشین و شبکه‌ی قدرت در حالات مختلف بررسی شده است.

1- Doubly fed Induction Generator (DFIG)

اما آنچه که در تحقیقات و مطالعات انجام شده در رابطه با تولید انرژی الکتریکی از باد کمتر مورد توجه قرار گرفته شرایط ماشین و شبکه در صورت بروز خطاهای داخلی ماشین است. در سیستم‌های موجود، بررسی خطاهای داخلی ماشین ضروری به نظر می‌رسد چرا که با بررسی و رفع مشکلات و پیامدهای ناشی از خطاهای داخلی، شاهد افزایش قابل ملاحظه در سطح قابلیت اطمینان سیستم و کیفیت توان خروجی هستیم.

با توجه به نکات فوق، در این پایان‌نامه با تمرکز روی خطای قطع تحریک[1] بعنوان یکی از خطاهای رایج، به بررسی شرایط ماشین و شبکه در پی وقوع این خطا پرداخته شده است. با تحلیل روی توربین بادی مجهز به ژنراتور القایی دوسو تغذیه روش‌های موجود برای شناسایی این خطا مطالعه شده است و سعی بر آن شده تا با ارائه روشی جدید که از سرعت و دقت بیشتری برخوردار است تاثیرات مثبتی را در عملکرد رله‌های حفاظتی ژنراتورهای بادی برای شناسایی این نوع خطا شاهد باشیم.

۱-۳- اهداف پایان‌نامه

بطور کلی در پی بروز خطای قطع تحریک، در توان راکتیو تحویلی از سوی ژنراتور به شبکه اختلالات زیادی بوجود می‌آید و همین مسئله ولتاژ شبکه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. هدف عمده از حفاظت قطع تحریک شناسایی سریع و با دقت خطاست تا از ورود صدمات مکانیکی به ژنراتور و صدمات الکتریکی به شبکه جلوگیری بعمل آید. معمول‌ترین روش برای شناسایی این خطا استفاده از رله‌های امپدانسی است که از طریق اندازه‌گیری امپدانس در ترمینال ژنراتور و بررسی تغییرات آن خطای قطع تحریک را تشخیص می‌دهد. اما از آنجا که ورودی این رله برای تشخیص خطا، ولتاژ و جریان ترمینال ژنراتور می‌باشد هر عملی که منجر به تغییر این دو مولفه ورودی رله شود منجر به عملکرد اشتباه رله خواهد شد. از جمله خطاهایی که عملکرد اشتباه رله را در پی دارند می‌توان به اتصال کوتاه در ترمینال ژنراتور، نوسانات طبیعی توان و پدیده لغزش قطب را نام برد.

1- Loss Of Excitation (LOE)

برای جلوگیری از عملکرد نادرست رله‌های امپدانسی روش‌های مختلفی ارائه شده است. ایجاد یک تاخیر زمانی و فرصت دادن به رله برای تمایز بین خطاهای دیگر و خطای قطع تحریک از اولین مکانیزم‌هایی است که برای حل این مشکل بکار برده شد. از جمله مکانیزم‌های دیگر نیز استفاده از شبکه عصبی است تا عملکرد نادرست رله را به حداقل برساند. در ادامه نیز کارهای تحقیقاتی زیادی صورت گرفته تا عملکرد این رله را در وضعیت بهتری قرار دهند. اما در این پایان نامه سعی بر آنست تا با دستیابی به معیاری جدید برای شناسایی خطای قطع تحریک، روشی جدید ارائه کند که علاوه بر سرعت و دقت بهتر، تاثیرپذیری آن از عواملی غیر از قطع تحریک نیز بسیار کم باشد.

از این رو در این پایان‌نامه خطای قطع تحریک روی یک ژنراتور القایی دوسو تغذیه بررسی خواهد شد تا اثرات آن روی ولتاژ شبکه و توان تولیدی ژنراتور پس از وقوع این خطا مشخص گردد. سپس پارامترهای ژنراتور پس از وقوع خطا تحلیل می‌گردد و به منظور دستیابی به یک نتیجه‌گیری کلی آزمایش‌های گسترده‌ای با تغییر وضعیت در اندازه ژنراتور و بار متصل به آن انجام شده است تا در نهایت شار پیوندی استاتور بعنوان معیاری جدید برای شناسایی خطای قطع تحریک معرفی گردد.

سوالاتی که در این پایان نامه به آنها پاسخ داده خواهد شد بدین شرح است:

۱- نحوه کار ژنراتور القایی دوسو تغذیه چگونه است و آیا رله‌های امپدانسی سرعت کافی برای شناسایی خطای قطع تحریک و جلوگیری از بروز صدمات به ژنراتور را دارند؟

۲- آیا رله‌های امپدانسی از توانایی‌های لازم برای تشخیص خطای قطع تحریک و تمایز آن از سایر خطاها برخوردار هستند؟

۳- از دست رفتن کامل تحریک برای یک ژنراتور القایی دوسو تغذیه چه پیامدهایی را در پی خواهد داشت و چه اثراتی روی ولتاژ شبکه و توان تولیدی ژنراتور می‌گذارد؟

۴- شار پیوندی استاتور پس از وقوع خطای قطع تحریک چه تغییراتی می‌کند؟ آیا می‌توان از آن بعنوان معیاری جدید برای شناسایی خطای قطع تحریک نام برد؟

۱-۴- ساختار پایان‌نامه

با توجه به اهداف ذکر شده، این پایان‌نامه بصورت ذیل فصل‌بندی شده است. ابتدا در فصل دوم به بررسی انواع مختلف ژنراتورهای بادی پرداخته شده است و مزایا و معایب هر کدام به تفصیل بیان شده است. در انتهای این فصل پس از مقایسه ژنراتورهای بادی، ژنراتور القایی دوسو تغذیه بعنوان ژنراتوری با کارکرد بهتر و کنترل‌پذیری بالاتر برگزیده شده است.

در فصل سوم ترکیب توربین بادی مجهز به ژنراتور القایی دوسو تغذیه تشریح شده است. ابتدا اصول کلی توربین‌های بادی بیان شده و سپس به تشریح اجزای تشکیل دهنده و چگونگی تولید و شارش توان و همچنین توصیف معادلات و روابط حاکم بر ولتاژ و توان خروجی این ژنراتور پرداخته شده است.

در فصل چهارم اهمیت بحث شناسایی خطای قطع تحریک و پیامدهای منفی بروز این خطا روی سیستم و ماشین بیان شده و انواع روش‌های موجود برای شناسایی آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. آخرین تحقیقات انجام شده تاکنون برای شناسایی خطای قطع تحریک در ژنراتور القایی دوسو تغذیه در این فصل کاملا بررسی شده است. در انتهای این فصل با توجه به ضعف‌های موجود در روش‌های قبل، استفاده از شار پیوندی استاتور بعنوان معیاری جدید برای شناسایی خطای قطع تحریک در ژنراتور القایی دوسو تغذیه معرفی شده و روش اندازه‌گیری شار در ژنراتور به نمایش در آمده است.

به این منظور در فصل پنجم، یک ژنراتور القایی دوسو تغذیه متصل به شبکه شبیه‌سازی شده و به منظور انجام آزمایش‌های گسترده، انواع شرایط بار و اندازه‌های متفاوت برای ژنراتور روی آن پیاده‌سازی شده و با اعمال خطای قطع تحریک روی ژنراتور نتایج و نمودارهای لازم از شبیه‌سازی استخراج شده است و پیامدهای منفی از دست رفتن تحریک، روی عملکرد ژنراتور و توان اکتیو و راکتیو تولیدی ژنراتور و همچنین سطح ولتاژ شبکه مورد مطالعه قرار گرفته است. در انتهای این فصل با مشاهده نتایج شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که با توجه به رفتار یکسان شار پیوندی استاتور در تمام حالات آزمایش شده با رسیدن به یک نتیجه کلی، می‌توان با استفاده از شار پیوندی خطای قطع تحریک را بسیار سریع‌تر از روش‌های موجود شناسایی کرد تا در نهایت این روش منجر به بهبود عملکرد رله قطع تحریک گردد.

در فصل ششم نیز پس از مرور کلی روش ارائه شده برای شناسایی خطای قطع تحریک، نتایج نهایی حاصل از پایان‌نامه، بیان گردیده و در انتها پیشنهاداتی به منظور تحقیقات آتی در این زمینه مطرح شده است.

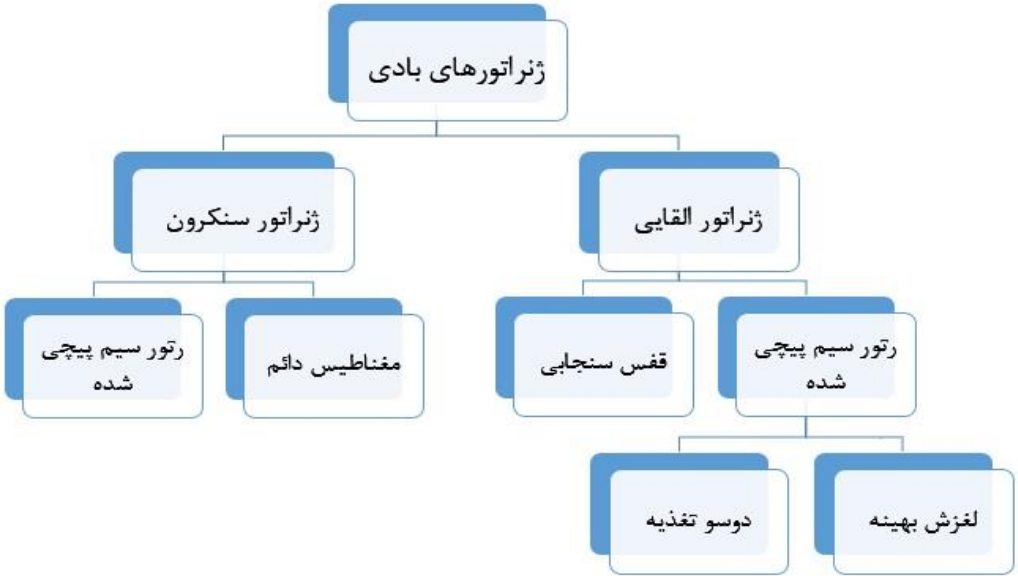
فصل ۲– انواع ژنراتورهای بکاررفته در توربین‌های بادی

۲-۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت فناوری و توجه بیشتر به انرژی بادی، توربین‌های بادی با قدرت بالا ساخته و تولید می‌شوند و افزایش توان تولیدشده درمزارع بادی، باعث شده این نوع نیروگاه‌ها نقش پررنگ‌تری در سیستم‌های قدرت داشته باشند. از این‌رو ژنراتورهای بکاررفته در این نیروگاه‌ها نیز با توجه به نیاز واحد و شرایط مختلف محیطی انتخاب می‌گردند. از جمله معیارهای مهم برای انتخاب ژنراتورهای بادی می‌توان به کنترل توان تزریقی اکتیو و راکتیو، امکان تغییر سرعت برای تولید توان بیشینه، میزان حساسیت به اغتشاشات شبکه، نحوه عملکرد در صورت بروز خطا و میزان نیاز به تعمیر و نگهداری اشاره کرد.

۲-۲- دسته بندی ژنراتورها

واضح است که یک توربین بادی برای تولید توان به یک ژنراتور نیاز دارد تا انرژی جنبشی باد را به انرژی الکتریکی تبدیل کند. امروزه با پیشرفت و ورود مبدل‌های قدرت به چرخه تولید انرژی بادی، از همه انواع ژنراتورهای AC با فرکانس‌های مختلف برای تولید توان استفاده می‌شود.



شکل ۲-۱: انواع ژنراتورهای AC رایج در نیروگاه‌های بادی