دانشگاه زنجان

دانشکدهٔ مهندسی

گروه برق

پایان نامهٔ کارشناسی

گرایش: **قدرت**

عنوان:**شاخص های پایداری حالت گذرای ولتاژ در شبکه های قدرت**

استاد راهنما: **جناب آقای دکتر جلیل زاده**

نگارش: **احسان پرویزی**

مهر ۱۳۹۲

فهرست

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: مطالعات دینامیکی و ضرورت آن در سیستم های قدرت

مطالعات دینامیکی یک سیستم قدرت ۷

ضرورت انجام مطالعات دینامیکی در سیستم های قدرت ۸

انواع پدیده ها و تقسیم بندی در مطالعه ی پایداری و دینامیک های یک سیستم قدرت ۹

عناوین مهم در دینامیک سیستم های قدرت ۱۱

مؤلفه های اصلی سیستم قدرت ۱۲

عناصر اصلی سیستم قدرت ۱۲

واحدهای تولیدی ۱۳

پست ها ۱۳

شبکه انتقال و توزیع ۱۴

حفاظت ۱۴

فصل سوم: روش های ارزیابی دینامیکی امنیت

مقدمه ۱۶

مفاهیم امنیت در سیستم های قدرت ۱۷

امنیت ۱۷

بررسی امنیت ۱۷

ارزیابی امنیت ۱۸

ارزیابی دینامیکی امنیت ۱۸

بررسی دینامیکی امنیت ۱۹

ارزیابی دینامیکی امنیت ۲۰

روش انتگرال گیری عددی در حوزه زمان ۲۱
روش تابع انرژی ۲۱
روش شبکه عصبی ۲۲
روش سیستم خبره ۲۳
روش های ترکیبی در بررسی دینامیکی امنیت ۲۳
جمع بندی ۲۳

فصل چهارم: پایداری ولتاژ

مقدمه ۲۷
دسته بندی پایداری ولتاژ ۲۹
تقسیم بندی اول براساس شدت اغتشاش ۲۹
تقسیم بندی دوم براساس مدت زمان اغتشاش ۲۹
تحلیل پایداری ولتاژ ۳۰
منحنی های v-p و q-v ۳۱
منحنی های v-p ۳۲
منحنی های q-v ۳۳
نحوه ی تشخیص پدیده ی ناپایداری ولتاژ ۳۴
معیار $\frac{d\Delta Q}{dV}$ ۳۵
معیار $\frac{dE}{dV}$ ۳۹
معیار $\frac{dQ_G}{dQ_L}$ ۴۰

شبیه سازی ٤٤

نتیجه گیری ٤٨

منابع ٥٠

فصل اول

مقدمه

مقدمه

رشد روزافزون سیستم‌های قدرت بهم پیوسته و بکارگیری تکنولوژی جدید از یک طرف و رویکرد به طراحی‌های بهینه و فشار زیاد اقتصادی در جهت بهره‌برداری حداکثر ممکن از سیستم‌های قدرت از طرف دیگر،انواع جدیدی از مسائل دینامیکی را بوجود آورده است و تحلیل‌گران را با یک سیستم بسیار پیچیده مواجه نموده است.

حفظ پایداری از جمله نیازهای اساسی سیستم قدرت است که در قالب عناوین پایداری گذرا، دینامیکی و ولتاژ مطرح است و بیانگر توانایی ذاتی سیستم است که بتواند خود را از اغتشاشات کوچک و بزرگ ناخواسته و اغتشاشات خواسته نظیر کلید زنی باز یابد و به کارش ادامه دهد. اگر چه با توجه به طراحی‌هایی که در سیستم قدرت برای جلوگیری از فروپاشی انجام می‌شود تا امکان خاموشی‌های سراسری کم شود اما بهرحال وقوع بعضی حوادث می‌تواند سبب وقایع زنجیره‌ای شود که منجر به خاموشی سراسری گردد. از جمله این موارد میتوان به خاموشی سواحل غربی امریکای شمالی در سال ۱۹۶۶میلادی و فروپاشی سیستم برزیل در سال ۱۹۹۹ و خاموشی سراسری امریکا در سال ۲۰۰۳ و خاموشی بخش وسیعی از شبکه سراسری ایران در اردیبهشت ۱۳۸۰شمسی اشاره کرد. با توجه به اینکه هدف اصلی یک سیستم قدرت، تأمین انرژی الکتریکی برای بارهای شبکه با کیفیت بالا و بدون ایجاد وقفه است و وقفه‌های هر چند کوچک و خاموشی های کوتاه مدت می‌تواند باعث وارد شدن خسارات فراوان گردد لذا ایجاد امنیت در سیستم‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است و مدلسازی، تجزیه و تحلیل و طراحی سیستمهای مختلف کنترلی جهت اعمال اقدامات پیشگیرانه یا اصلاحی بیش از پیش حائز اهمیت گردیده است.

امنیت به معنی نداشتن خطر پذیری در بهره‌برداری یک سیستم قدرت است. از دیدگاه کنترلی هدف از بهره‌برداری سیستم قدرت آن است که با وجود تغییرات بار و تولید بتوان مقادیر توان جاری درخطوط و اندازه وزاویه ولتاژشین‌ها را درمحدوده قابل قبول حفظ کرد. براساس این دیدگاه می‌توان امنیت را بعنوان احتمال حفظ نقطه کار سیستم در محدوده قابل قبولی از فضای حالت بهره‌برداری تعریف کرد. این احتمال خود تابع احتمال وقوع حوادث در سیستم و شرایط محیطی خواهد بود و بایستی با وجود تغییرات بار، سرعت واحدهای تولیدی متعدد با هم سنکرون گردد. هرگونه عدم تعادل در همگامی منجر به ناپایداری در سیستم می‌گردد. بهره‌برداری از چنین سیستمی نه تنها نیازمند مدل‌سازی مناسب از گاورنرهای سریع و مدل دینامیکی بار و ژنراتور است بلکه باید با وجود تغییرات بار و یا قطع ناگهانی تجهیزات تمامی تجهیزات در محدوده ظرفیت فیزیکی‌شان باقی بمانند. البته نمی‌توان از یک سیستم قدرت بطور مطلق امن

بهره‌برداری کرد. اما تا حد امکان می‌توان امنیت را بمعنی بوجود نیامدن وقفه در بهره‌برداری پیوسته سیستم برقرار نمود.بهره‌برداری امن سیستم قدرت در حالت بلادرنگ نیازمند توانایی تغییر سریع شرایط سیستم است.

در طول روز ممکن است پیش‌بینی بار دارای خطا باشد یا حوادث غیر مترقبه نظیر خروج تجهیزات رخ دهد. از آنجائیکه زمان کافی برای تکرار مطالعات در حالت غیر همزمان نیست لذا حوادث بحرانی باید شناسایی شوند و از تجربیات اپراتور استفاده گردد تا شرایط بطور سریع امن گردد. بهره‌برداری امن و مطمئن از انرژی الکتریکی اهمیت فراوانی دارد. زیرا انرژی الکتریکی نقش انکار ناپذیری در اقتصاد ملی کشور بعهده دارد. هنگام تغییرات بار، توان ژنراتور نیز تغییر می‌کند. تغییرات توان و تغییرات فرکانس بترتیب توسط گاورنرهای سریع و سیستم اتوماتیک تولید پوشش داده می‌شوند و این تجهیزات پارامترهای اساسی در حفظ امنیت سیستم هستند.

امروزه اتصال سیستم‌های الکتریکی مختلف به یکدیگر که بدلیل اقتصادی و دستیابی به تولید نواحی دیگر صورت می‌گیرد امکان وقوع اختلالات گسترده و پیچیده‌ای را بوجود آورده است. بدون اتصال فوق ممکن است تک تک سیستم‌ها دارای ریسک بهره‌برداری زیادی باشند اما وقوع اختلالات گسترده امکان نخواهد داشت.

سیستم‌های قدرت بطور مستمر در معرض اغتشاش و خطا واقع می‌شوند. تجزیه و تحلیل بلادرنگ امنیت بصورت متناوب در یک سیستم قدرت جهت اطمینان از توانایی سیستم درمقابله با حوادث اجرا می‌گردد. این تجزیه و تحلیل نیازمند بررسی اثرات استاتیکی و دینامیکی صدها حادثه در سیستم است. ارزیابی استاتیکی امنیت بصورت بلادرنگ در سیستم‌های مدیریت انرژی انجام می‌گردد و درجه رضایت‌مندی تمام محدودیت‌های استاتیکی بعد از حادثه در شرایط ماندگار آزمایش می‌شود. از نظر محاسباتی ارزیابی استاتیکی امنیت نیاز به حل یک سری معادلات جبری غیرخطی دارد. ارزیابی دینامیکی امنیت به بررسی پایداری یا ناپایداری بعد از حادثه مربوط می‌شود و نیازمند حل معادلات دیفرانسیل غیرخطی بعلاوه معادلات جبری غیرخطی است.

در سیستم‌های عملی شرایط بارگیری سیستم و پارامترها می‌تواند بطور کامل از آنچه که در طراحی فرض شده متفاوت باشد، لذا برای اطمینان از امنیت سیستم در مقابل حوادث اپراتور باید حوادث را شبیه‌سازی نموده و سپس عملیات پیشگیرانه ای را، اگر لازم باشد، انجام دهد. بدلیل تعداد زیاد حوادث احتمالی در سیستم‌های بزرگ قدرت، امکان بررسی تمام حوادث وجود ندارد و تعداد حوادث باید کاهش یافته و حوادث

مهم بررسی گردند. حذف حوادث در بررسی دینامیکی امنیت تابع اساسی سیستم ارزیابی دینامیکی امنیت بوده و سرعت و زمان محاسبات بستگی به موثر بودن طرح حذف حوادث دارد. روشهای مختلف و شاخصهای متنوعی در مراجع برای رتبه‌بندی حوادث ارائه شده است تا حوادث مهم مشخص و بعد بررسی کامل فقط روی این حوادث صورت گیرد.

سیستم‌های قدرت در نتیجه حوادث محتمل در معرض ناپایداری قرار دارند. این حوادث به دو بخش عمده داخلی و خارجی تقسیم‌بندی می‌شوند. حوادث داخلی مربوط به خود شبکه قدرت نظیر تغییر در بارها و یا خروج ژنراتورها و... بوده در حالیکه حوادث خارجی به شرایط محیطی نظیر رعد و برق و طوفان‌های سهمگین مربوط می باشد. بهرحال این حوادث سبب نوسان در سیستم و خروج سیستم از ناحیه بهره‌برداری ماندگار می‌شود. اگر این نوسانات کنترل شوند، سیستم در حالت همگامی می ماند و اگر نوسانات افزایش یابند و باعث خروج تعدادی از ژنراتورها از حالت همگامی شوند سیستم نا امن خواهد بود. بررسی مقالات و مراجع موجود در ارتباط با شاخصهای رتبه بندی حوادث نشان می دهد که دراکثر این مقالات تنها یک شاخص بیان شده و یا ناحیه پایداری برای سیستم مورد مطالعه بدست آمده است با توجه به اینکه در اغلب موارد، تک تک شاخصها نمی توانند بیانگر رتبه بندی صحیح شدت حوادث در سیستم باشند، لذا استفاده از شاخص ترکیبی ضروری بنظر می رسد.

در این پایان نامه شاخص ترکیبی با استفاده از ضرایب وزنی مساوی و با استفاده از روشهای عصبی ، ژنتیک و فازی و نیز با استفاده از روش ریاضی الگوریتم کمترین مربعات بدست آمده است و در نهایت با توجه به رفتار فیزیکی شاخصها بعد از وقوع خطا یک شاخص ترکیبی معرفی شده
است .

ساختار پایان نامه

ضرورت تحلیل دینامیکی سیستمهای قدرت در سالهای اخیر رشد فزاینده ای یافته است و دلیل عمده آن استفاده از سیستمهای بهم پیوسته در شبکه های انتقال است که ضمن داشتن مزایای فراوان امکان وقوع اختلالات گسترده نیز در آن وجود دارد و نیاز به مطالعات دینامیکی در محیط های بهره برداری احساس می شود. با عنایت به این ضرورت فصل دوم به مطالعات دینامیکی و ضرورت آن در سیستم های قدرت می پردازد.فصل سوم به روش های ارزیابی دینامیکی امنیت اختصاص یافته و مزایا و معایب آنها اختصاص یافته است.

فصل چهارم به تحلیل پایداری ولتاژ و روش های مختلف تشخیص پایداری یا ناپایداری سیستم قدرت پرداخته است.نتایج شبیه سازی ها و ارزیابی مدل ها در مورد شبکه ی آزمایشی نمونه در فصل پنجم آمده است و در نهایت در فصل ششم نتیجه گیری ها و پیشنهادات ارائه شده است.

فصل دوم

مطالعات دینامیکی و ضرورت آن در سیستم های قدرت

مطالعات دینامیکی یک سیستم قدرت

در سیستم‌های دینامیکی رابطه‌ی بین ورودی و خروجی لحظه‌ای نیست بـه ایـن معنـی کـه اگـر ورودی سیستم یک باره مثلاً دوبرابر شود، مدتی طول می‌کشد تا خروجی به مقـدار جدیـد برسـد.علـت اصلی دینامیکی بودن اکثر سیستم ها این است که در آنها عناصر ذخیره‌کننـده ی انـرژی وجود دارد.

در یک مدار که از سلف و خازن تشکیل شده است بین سلف و خازن انرژی رد و بدل و نوساناتی در ولتاژ و جریان ایجاد می شود.

عناصر ذخیره کننده ی انرژی مانع لحظه ای شدن رابطه‌ی بین ورودی و خروجی میشوند. هرچند کـه عناصر ذخیره کننده‌ی انرژی منافع زیادی نیز دارند، ولی از نظر شخصی که هـدفش کـم کـردن‌نوسـانات حالت گذراست مزاحمند حال کـه نمی‌تـوان حالـت گـذرا را کـاملاً از بـین بـرد بایـد آن را مطالعـه و حدالامکان اثر مخرب آن را روی سیستم کم کرد. برای این کار یعنی مطالعه‌ی دینـامیکی بایـد قـدم هـای زیر برداشته شود:

الف- مدل سازی:

یعنـی بـه دسـت آوردن یـک رابطـه ی ریاضـی بـین ورودی و خروجـی یـک سیـستم روش های مدل سازی به دو نوع تحلیلی و آزمایشی تقسیم می شوند.

ب- شبیه سازی:

از آنجا که انجام آزمایش‌ها و مطالعات مختلف روی سیستم واقعی ممکن است وقت گیر،خطرناک و یا پرهزینه باشد، سعی می‌شود، بر اساس مدل به دست آمده از سیستم، یک سیستم مـصنوعی،که در آن رابطه ی بین ورودی و خروجی با سیستم واقعی تقریباً یکی است بسازند.

ج- تجزیه وتحلیل سیستم:

پس از مدل‌سازی وشبیه سازی یک سیستم دینامیکی عکس العمل سیستم تحت ورودی ها و شرایط کاری مختلف و اثر هر کـدام از پارامترهـای سیـستم روی حالـت گـذرا و پایـداری سیستم تحت شرایط مختلف بررسی می گردد.

د- طراحی کنترل کننده : پس از شناخت کامل سیستم، در صورت لزوم، با استفاده از مدل آن و نرم افزارهای طراحی، یک کنترل کننده ی مناسب برای پایدار کردن و بهبود حالت گذرا طراحی می شود[۲].

ضرورت انجام مطالعات دینامیکی در سیستم های قدرت:

از آنجا که عناصر ذخیره‌کننده ی انرژی در مقابل تغییرات عکس‌العمل نشان می‌دهند و برق متناوب نیز دائماً در حال تغییر است، مطالعات دینامیکی در سیستم های برق متناوب بسیار مهم است. از آنجا که میزان مصرف برق در مناطق مختلف و در زمان‌های مختلف متفاوت است، برای بهره برداری بهتر از سرمایه‌گذاری انجام شده در بخش تولید، بهتر است شبکه‌های تولید و توزیع برق به هم متصل شوند تا در زمانی که در یک منطقه میزان بار درخواستی بیشتر از توان تولیدی است و بالعکس یک منطقه بتواند به منطقه ی دیگر سرویس بدهد. هرچند که اتصال سیستم‌های کوچک تولید و توزیع به یکدیگر، سیستم را در مقابل اغتشاشات کوچک پایدارتر می‌کند ولی چنانچه برای یک سیستم مشکل جدی پیش بیاید بر سیستم های دیگر نیز اثر می گذارد. به هرحال بنابه دلایل اقتصادی شبکه‌های مدرن تولید و توزیع برق بسیار به هم پیوسته شده اند،هرچند این اتصالات بنابر مقتضیات اقتصادی صورت گرفته‌اند، مطالعات دینامیکی سیستم های قدرت رابیش از پیش ضروری کرده اند.

سیستم‌های مدرن قدرت خصوصیات زیادی دارند؛ از جمله می‌توان به تولید در واحدهای با ظرفیت بالاتر و دورتر بودن محل تولید و محل مصرف (طولانی تر شدن خطوط انتقال نیرو) اشاره کرد که بنا به دلایل اقتصادی صورت می گیرد ولی روی پایداری سیستم اثر منفی دارد.

یکی دیگر از خصوصیات تولید برق مدرن، که انجام مطالعات دینامیکی را ضروری می‌کند، این است‌که برای استفاده ی حداکثر از سرمایه‌گذاری انجام شده در تولید، سیستم های امروزی تولید در صنعت برق معمولاً در حد بالای ظرفیت خود کار می کنند. این موضوع پایداری سیستم قدرت را بسیار کم می کند

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

نتیجه گیری

پایداری ولتاژ یک سیستم تحت تأثیر عوامل مختلفی از قبیل مشخصات استاتیکی و دینامیکی‌سیستم، کنترل کننده ولتاژ، جبرانگرها، پایداری زاویه روتور، تجهیزات حفاظتی، عملکرد مراکز کنترل، افزایش درخواست بار راکتیو شبکه، افزایش بار شبکه به مرور یا به صورت سریع،ایجاد خطا در سیستم‌می باشد.

وقوع خطا (اتصال کوتاه) تأثیرات زیان باری درسیستم به وجود می آورد. و می‌تواند موجب ایجاد ناپایداری ولتاژ و در صورت شدید بودن خطا ، منجر به فروپاشی ولتاژ شبکه گردد.که در این حالت آنچه که معمولاً در صورت عدم توانایی سیستم در بازیابی ولتاژ اتفاق می‌افتد، این است که: به علت خارج شدن (کاهش شدید) ولتاژ از محدوده مجاز رله‌های افت ولتاژ ژنراتورها و دستگاه های متنوع صنعتی، برای حفظ سلامت این تجهیزات، آنها را از شبکه جدا می‌کنند که نهایتاً از دیدگاه تولید منجر به از دست دادن تولید و جزیره شدن شبکه، و از دیدگاه مصرف کننده (بیشتر مراکزی که وابستگی شدیدی به برق دارند از قبیل کارخانه جات ذوب،تولید پارچه، و...) منجر به وارد آمدن خسارات سنگین و گاهی جبران نشدنی می شود.

بعد از شبیه سازی و رسم منحنی های ولتاژ باس های مختلف در قبل، هنگام و بعد از ایجاد خطا در زمان های متفاوت حضور خطا، مشاهده می‌شود که هرچه مدت زمان حضور خطا در سیستم بیشتر باشد، ولتاژهای شبکه سریعتر به سمت ناپایداری می رود. همچنین بعضی نقاط بحرانی در شبکه وجود دارند که بیش از نقاط دیگر به خطا حساس هستند و حتی در زمان های خیلی کوتاه حضور خطا در حدود ۰/۰۴ ثانیه به شدت باعث ناپایداری سیستم می شوند.

با توجه به این موضوع، لزوم استفاده از دستگاه های پیشرفته سنجش خطا و قطع کننده های سریع، مخصوصاً در پست‌ها و مراکز تولید حساس که بار اعظمی از شبکه را تأمین می کنند به وضوح حس می شود.

درپایان به مواردی که موجب بهبود پایداری در سیستم می گردد اشاره می شود:

استفاده از تجهیزات حفاظتی و مدار شکن هایی که در سریعترین حالت ممکن خطا را برطرف نماید

- استفاده از ساختار سیستم بنحوی که این ساختار برای شرایط خاصی از بهره برداری مناسب باشد (پرهیز از خطوط انتقال بلند و پربار).
- تضمین ذخیره مناسب در ظرفیت انتقال.
- پرهیز از بهره برداری سیستم در فرکانس کم ویا در ولتاژ کم.
- پرهیز از ضعیف کردن شبکه ناشی از خروج های[۱] همزمان تعداد زیادی از خطوط و ترانسفورماتورها.
- استفاده از پایدارساز سیستم قدرت(PSS)[۲] در سیستم تحریک و تنظیم کننده ی سرعت توربین.
- بستن سریع شیر.
- قطع کردن ژنراتور .
- عناصر موازی نظیر خازن ها و راکتورهای موازی به منظور تغییر دادن پارامترهای شبکه و در نتیجه میرا کردن نوسانات توان.
- عناصر سری
- استفاده ازکنترل کننده ی یکپارچه پخش بار(UPFC)[۳]، ادوات FACTS[۴] که برای کمک به بهبود پایداری و پاسخ دینامیکی به کار می روند.

۱-Outages
۲-Power System Stabilizer
۳-Unified Power Flow Controller
۴-Flexible AC Transmission Systems

[۱] جلیل زاده، سعید، **"ارزیابی دینامیکی امنیت و رتبه‌بندی حوادث محتمل بر اساس شاخص ترکیبی"**، دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸٤

[۲] دکتر مهدی کراری، **"دینامیک و کنترل سیستم‌های قدرت"**، چاپ اول، تهران، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی‌تکنیک تهران)، زمستان ۱۳۸۲.

[۳] احد کاظمی- حیدر علی شایانفر، **"دینامیک و پایداری سیستمهای قدرت"**، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸٤

[٤] دکتر رضا قاضی- مهندس مرتضی خاتمی، **"دینامیک و پایداری سیستم‌های قدرت"**، چاپ اول، مشهد، نشر گل آفتاب، ۱۳۸۲

[5] Machowski, J. J.W. bialek and J.R. Bumby. **"Power System Dynamics and Stability"**, John Wiely & Sons, New York, 1997.

[٦]سپاهیان، محمدصادق، "بهبود بهینه و توام پروفیل و پایداری ولتاژ"، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۹

[۷] دکتر حسین سیفی- دکتر علی خاکی صدیق، **"دینامیک و پایداری سیستم‌های قدرت"**، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷٦.

[8] Morison. R, Hamadanizadeh. H, and Wang. I **"Dynamic Security Assessment Tools"** IEEE. PES. Summer meeting1999, Vol.1,pp282-286.

[9] Kumar. A. B. R, Brandwajn. V, Ipakchi. A and Adapa. R **"Integrated Framework for Dynamic Security Analysis"** IEEE Trans. Power system, Vol.13, No.3, August 1998, pp816-821.

[10] M. A. Pai **"Power System Stability, Analysis by the Direct Method of lyapunov"** North- Holland, Amsterdam, 1981.

[11] L. Wehenkel, T. h. Van custem and M. Ribbens- pavella **"An Artificial Intelligence Framework for On-line Transient Stability Assessment of Power System"** IEEE. Trans. PWRS-4,1989, pp 789-800.

[12] H. Mori, Y.Tamaru and S. Tsuzuki "**An Artificial Neural Net. Based Technique for Power System Dynamic Stability with the Kohonen Model**" IEEE ,Trans. PWRS -7 (1992) pp 856-864.

[13] G. W. stagg, A. H. EI - Abid **"Computer Method in Power System Analysis"** Mc-graw Hill, Newyork, NY, 1968.

[14] S. Jovanovic. B. Fox and B. W. Hogg **"Decoupled Load Flow for Transient Security Studies"** The Queen's University of belfast, Uk.

[15] A. A. Found, S. E. Stanton, K. R. C. Mamandur and K. C. Kruempel **"Contingency Analysis Using the Transient Energy Margin Technique"** IEEE. Trans. PAS - 101- 1982, pp 757-766.

[16] Geo, B. and P. Kundur, "Voltage Stability Evaluation Using Model Analysis", IEEE Trans. PWRS-7, No. 4, 1992.