



دانشگاه زنجان

عنوان پروژهی کارشناسی:

بررسی پایداری گذرای نیروگاه‌های در دست احداث شبکه‌ی برق منطقه‌ای زنجان

در سال 1397

ارائه شده به:

گروه آموزشی مهندسی برق

دانشکده‌ی برق و کامپیوتر

دانشگاه زنجان

استاد راهنما:

دکتر امیر باقری

توسط:

مرتضی محمدی

88442191

خرداد 92

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

پایان نامه کارشناسی



فهرست مطالب

5..... چکیده مطالب

7..... فصل اول

8..... پیشگفتار

9..... تکنیک‌های تشخیص پایداری گذرا

10..... ضرورت انجام مطالعات دینامیکی در سیستم‌های قدرت

11..... نحوه‌ی محاسبات مطالعات پایداری در شبکه‌ها

12..... فصل دوم

13..... معرفی ویژگی‌ها و تاریخچه‌ی نرم افزار دیجسایلنت

14..... نحوه‌ی تنظیمات محاسبات پایداری در نرم افزار دیجسایلنت

16..... فصل سوم

17..... مدل درجه 5 برای بخش الکتریکی ژنراتور سنکرون

18..... تبدیل پارک برای ساده سازی معادلات در فضای حالت ژنراتور سنکرون

19..... مدل سازی محورهای طولی و عرضی ژنراتور

20..... مدل سازی بخش مکانیکی ژنراتور سنکرون (دینامیک روتور)

21..... مدل کامل برای توصیف ژنراتور سنکرون در فضای حالت

23..... فصل چهارم

اطلاعات شبکه‌ی نیروگاهی برق منطقه‌ی زنجان در سال 97 برای تحلیل پایداری گذرا 24

بر آورد بار در سال 97 برای شبکه‌ی برق منطقه‌ی زنجان 25

تبادل برق با شبکه‌های برق منطقه‌ای همجوار در سال 1397 26

شبیه‌سازی شبکه‌ی برق منطقه‌ی زنجان با نرم افزار دیج سایلنت 27

نتایج محاسبات و شبیه‌سازی شبکه‌ی برق منطقه‌ی زنجان با نرم افزار دیج سایلنت 28

نتیجه‌گیری 40

پیوست‌ها 41

مراجع 44

فهرست شکل‌ها و جدول‌ها

- شماره (1) ظرفیت تولیدی نیروگاه‌ها در سال 1397 25
- جدول شماره (2) تبادل برق به برق منطقه‌ای‌های همجوار در سال 1397 26
- شکل (1) دیاگرام تک خطی شبکه‌ی زنجان در سال 1397 24
- شکل (2) زاویه‌ی روتور شین نیروگاه زنجان 1 و خروج خط زنجان 1- غایتی 400 29
- شکل (3) زاویه‌ی روتور شین نیروگاه زنجان 1 و خروج خط نیروگاه زنجان 1- آیدوغموش 30
- شکل (4) زاویه‌ی روتور شین نیروگاه زنجان 2 و خروج خط زنجان 2- ایچرود 400 31
- شکل (5) زاویه‌ی روتور شین نیروگاه سلطانیه (زنجان 3) و خروج خط نیروگاه زنجان 3- غایتی 400 32
- شکل (6) زاویه‌ی روتور شین نیروگاه سلطانیه و خروج خط نیروگاه زنجان 3- مینودر 400 33
- شکل (7) زاویه‌ی روتور شین نیروگاه زنجان 4 و خروج خط زنجان 4 - غایتی 230 34
- شکل (8) زاویه‌ی روتور شین نیروگاه ابهر و خروج خط نیروگاه ابهر - تاکستان 400 35
- شکل (9) زاویه‌ی روتور شین نیروگاه تاکستان و خروج خط نیروگاه تاکستان - ابهر 230 36
- شکل (10) زاویه‌ی روتور شین نیروگاه بوئین زهرا و خروج خط بوئین زهرا - بوئین زهرا 230 37
- شکل (11) زاویه‌ی روتور شین نیروگاه‌ها در حالت اتصال کوتاه در شین پست 400 غایتی و خروج خط غایتی - ایچرود 400 38
- شکل (12) زاویه‌ی روتور شین نیروگاه‌ها در حالت اتصال کوتاه در شین پست 400 غایتی و خروج خط غایتی - دشتابی 400 39

چکیده‌ی مطالب

یکی از مهمترین زمینه‌های مطالعاتی در احداث نیروگاه، شبیه‌سازی عملکرد آن تحت شرایط پایدار و ناپایدار می‌باشد. اصولاً برنامه‌های شبیه‌ساز به عنوان یک ابزار مناسب تحقیقاتی در زمینه‌های مختلف طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های نیروگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند و برنامه‌های مختلف، بطور تخصصی سیستم‌های گوناگون به کار رفته در نیروگاه‌های بخار را مدل‌سازی، طراحی و ارزیابی می‌نمایند. عامل ناپایداری سیستم در خطاهای شدید، انرژی جنبشی اضافی سیستم در لحظه رفع شدن خطا می‌باشد. این انرژی اضافی، ژنراتورهای نزدیک به خطا را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، در صورتی که سیستم در اثر اغتشاشات بزرگ ناپایدار پیش‌بینی شود، با شناسایی این ژنراتورها و خارج ساختن یک یا چند واحد از آنها، می‌توان انرژی تزریق شده به سیستم را کاهش داده و از فروپاشی شبکه جلوگیری نمود.

در این پروژه به بررسی، تحلیل و شبیه‌سازی پایداری گذرای شبکه‌ی برق منطقه‌ای زنجان در سال 1397 با نرم‌افزار دیج‌سایلنت¹ پرداخته شده است. لازم به ذکر است که در سال 97، با توجه به مطالعات و برنامه ریزی‌های انجام شده در برق منطقه‌ای زنجان، پیش‌بینی می‌شود که نیروگاه‌های زنجان 1، زنجان 2، سلطانیه (زنجان 3)، زنجان 4، ابهر، تاکستان و بوئین زهرا به بهره‌برداری رسیده و به عنوان تولیدکنندگان توان مطرح خواهند شد. نیروگاه سلطانیه (زنجان 3) هم اکنون نیز با 4 واحد گازی به ظرفیت عملی 500 مگاوات توان، به شبکه‌ی برق منطقه‌ای زنجان تزریق می‌نماید.

برای انجام مطالعات پایداری در شبکه‌ی برق منطقه‌ای زنجان، سیستم قدرت باید به صورت یک سیستم غیرخطی برای اغتشاشات بزرگ مدل شود. می‌دانیم امنیت سیستم‌های قدرت به دو نوع امنیتی استاتیکی و دینامیکی تقسیم می‌گردد. امنیت دینامیکی توانایی حفظ پایداری دینامیکی و یا گذرای سیستم قدرت

¹ -DigSILENT

پس از وقوع اختلال بوده، در حالیکه امنیت استاتیکی توانایی حفظ و نگهداری متغیرهای بهره برداری مثل دامنه ولتاژ شین‌ها و توان عبوری از خطوط می باشد .

پایداری گذرا، توانایی سیستم قدرت در حفظ سنکرونیسم است زمانی که تحت تأثیر اغتشاش گذرای بزرگی مانند از دست دادن تولید، اتصال کوتاه سه فاز یا از دست دادن یک بار بزرگ قرار بگیرد. چنین

اغتشاش‌هایی موجب نوسانات بزرگ در زوایه‌ی روتور ژنراتورها، توان‌های انتقالی، ولتاژشین‌ها و سایر متغیرهای سیستم خواهند شد. پایداری گذرا از مشخصه‌های غیرخطی سیستم قدرت تأثیر می پذیرد . اگر

انحراف زوایه‌ی پدید آمده بین ژنراتورهای سیستم درون کران‌های معینی باقی بماند، سیستم حالت سنکرونیسم را حفظ خواهد کرد. اما اگر سنکرونیسم، به واسطه‌ی ناپایداری گذرا از دست برود، پس از 2 تا

3 ثانیه از بروز اغتشاش اولیه معلوم خواهد شد .

این پروژه در غالب چهار فصل تنظیم شده است که به ترتیب به بررسی ضرورت انجام مطالعات پایداری،

معرفی نرم‌افزار دیج‌سایلنت، مدل‌سازی درجه 7 ژنراتور سنکرون و در نهایت به شبیه‌سازی و تحلیل شبکه برق منطقه‌ای زنجان در سال 1397 می‌پردازد.

برای شبیه‌سازی حالت پایداری گذرا در شبکه‌ی زنجان فرض می‌شود خطای سه فاز در ابتدای خط متصل به شین‌های نیروگاهی رخ داده است و بعد 5 سیکل معادل 0.1 ثانیه خطا تشخیص داده شده و در

نهایت خطی که خطا در آن رخ داده، توسط سیستم حفاظتی از مدار خارج می‌شود.

با توجه به نتایج تحلیل‌ها و شبیه‌سازی‌های انجام گرفته با نرم‌افزار دیج‌سایلنت بر روی نیروگاه‌های

احداثی برق منطقه‌ای زنجان در سال 1397، دینامیک ژنراتورهای تمام نیروگاه‌های برق منطقه‌ای زنجان

در صورت بروز هر گونه اغتشاش و یا خطاهای سه فاز در شین نیروگاهی مربوطه، پایدار پیش‌بینی می‌شود لذا شبکه‌ی برق منطقه‌ای زنجان از لحاظ پایداری گذرا مشکلی نخواهد داشت.

فصل اول

ضرورت انجام مطالعات دینامیکی در شبکه‌های قدرت



1-1- پیشگفتار

امروزه پایداری سیستم‌های قدرت و حفظ سنکرونیزم در برابر اغتشاشات گذرای شدید اهمیت ویژه‌ای دارد. بروز خطای اتصال کوتاه در شبکه‌های انتقال و نحوه عملکرد رله‌ها برای رفع خطا، ممکن است باعث ناپایداری ژنراتورهای سیستم گردد. لذا باید از راه‌های مختلفی پایداری یا ناپایداری سیستم را پیش بینی کنیم. با توجه به اینکه استفاده از روش‌های سخت افزاری برای پیش‌بینی پایداری باعث می‌شود زمان زیادی صرف شود، هزینه‌ها و آسیب‌های جبران ناپذیری به سیستم تحمیل کند. لذا برای پیش‌بینی پایداری شبکه در شرایط بروز اغتشاشاتی مانند اتصال کوتاه سه فاز، ناچار خواهیم شد تا از روش‌های نرم افزاری مثل انواع برنامه‌ها و نرم افزارهای تحلیل و شبیه سازی شبکه استفاده کنیم.

توان تولیدی و مصرفی برق در هر کشور یکی از شاخص‌های پیشرفت صنعتی آن کشور محسوب می‌شود. در دهه‌های اخیر نیازهای بخش صنعتی و غیرصنعتی کشور به انرژی برق رشد چشمگیری داشته است. طبق آمار موجود، مصرف برق در ایران با رشدی در حدود 9% مواجه است. همچنین با توجه به هزینه بالای ساخت این نیروگاه‌ها، کنترل بهینه عملکرد آنها تحت شرایط مختلف بار حائز اهمیت می‌باشد. این امر، نیاز به مطالعات گسترده‌تر در زمینه‌ی طراحی، بهینه‌سازی، ساخت و کنترل نیروگاه‌ها را می‌طلبد. لذا اتخاذ روش‌های کنترلی پیشگیرانه در این موارد بسیار ضروری است.

در اکثر سیستم‌های قدرت مدرن امروزی، توسعه‌ی چشمگیر مراکز صنعتی در مناطق دوردست و مناطقی که احداث نیروگاه‌ها در این مناطق مقدور نمی‌باشد، سبب می‌شود تا فاصله‌ی مراکز تولید با مصرف‌توان زیاد باشد. این امر قابلیت اطمینان سیستم را به شدت کاهش می‌دهد چرا که با وقوع یک خطای اتصال کوتاه سه‌فاز در خطوط انتقال بحرانی، ممکن است موجب ناپایداری ژنراتورهای نیروگاه شده و خاموشی‌های سراسری در شبکه‌های برق ایجاد می‌کند.

پایداری از دیدگاه سیستم‌های قدرت، به طور کلی به سه دسته زیر تقسیم می‌شود:

1- پایداری زاویه‌ی روتور

2- پایداری فرکانس

3- پایداری ولتاژی

پایداری گذرا که موضوع اصلی این پروژه است، جزء پایداری زاویه‌ی روتور محسوب می‌شود. به عبارتی

پایداری گذرای یک سیستم، میزان توانایی آن سیستم در حفظ حالت سنکرونیزم خود با شبکه، در زمان

بروز یک اغتشاش شدید را نشان می‌دهد. عکس العمل سیستم می‌تواند شامل تغییرات بزرگ زاویه روتور

ژنراتور باشد که از رابطه‌ی غیرخطی توان-زاویه تأثیر می‌پذیرد. باید توجه داشت که پایداری یک سیستم،

علاوه بر شدت اغتشاش، به نقطه‌ی کار اولیه‌ی سیستم هم بستگی دارد [1].

با توجه به رشد و گسترش قابل توجه ظرفیت‌های ارتباطی در نسل کنونی شبکه‌های توزیع برق، تمام

اطلاعات شبکه لحظه به لحظه رصد شده و هم زمان به مراکز کنترل ارسال می‌گردد. این امر پیش‌بینی

سریع‌تر پایداری گذرا شبکه را امکان‌پذیر می‌سازد. لذا اگر سیستم ناپایدار پیش بینی شود باید اقدامات

حفاظتی و کنترلی مناسب مانند خروج ژنراتور از شبکه، بارزدائی و... صورت بگیرد.

1-2- تکنیک‌های تشخیص پایداری گذرا

به طور کلی تکنیک‌های تشخیص پایداری گذرا به سه دسته‌ی زیر تقسیم می‌شوند:

1- شبیه سازی در حوزه‌ی زمان: از جمله ویژگی‌های این روش دقت بالای آن است. در مقابل محاسبات

پیچیده‌ی سنگین و طولانی دارد و برای تحلیل‌های حالت ماندگار بسیار مناسب است. مشکل محاسبات

سنگین نیز امروزه با پردازنده‌های پرسرعت تسریع شده است.

2- روش مستقیم لیاپانوف: در این روش از مدل کلاسیک ساده‌ی ژنراتور استفاده می‌کنند و برای

سیستم‌های پیچیده توصیه نمی‌شود.

3- هوش محاسباتی: شامل شبکه‌های عصبی، شبکه‌های فازی، روش‌های شناسایی الگو و... [1 و 2] است.

مقاله‌های متعددی از روش‌های مختلف هوش محاسباتی بهره برده‌اند از جمله می‌توان به روش‌های

SVM [2] ، RVM [2] ، درخت تصمیم [3] و شبکه‌های عصبی [4] و [5] اشاره کرد.

3-1- ضرورت انجام مطالعات دینامیکی در سیستم‌های قدرت

علت اصلی دینامیکی بودن اکثر سیستم‌ها، وجود عناصر ذخیره کننده انرژی می‌باشد در سیستم‌های

قدرت نیز وجود سلف‌ها و خازن‌های خطوط انتقال عناصر ذخیره کننده انرژی هستند. حضور این

عناصر سبب می‌شود که رابطه‌ی بین ورودی‌ها و خروجی‌های توان در شبکه‌ی انتقال و توزیع لحظه‌ای

نباشد.

در بسیاری از نقاط جهان در سطح کشورها و حتی در سطح قاره‌ها، به منظور کاستن از هزینه‌های تولید،

افزایش اطمینان، استفاده از ظرفیت‌های رزروی شبکه‌های مجاور و اتصال شبکه‌های با پیک بار مصرفی

غیر هم زمان، شبکه‌ها به هم متصل می‌شوند. این امر اگر چه شبکه‌ها را در مقابل اغتشاشات کوچک

پایدارتر می‌کند، اما چنانچه برای یک شبکه مشکل حادثتری پیش آید، بر روی پایداری سایر شبکه‌های

بهم پیوسته هم اثر منفی خواهد گذاشت [6].

امروزه چون در شبکه‌های تولید برق، محل‌های تولید و مصرف، در نقاط دوردست‌تری نسبت به هم قرار

دارند، موجب می‌شود تا خطوط انتقال طولانی گردند. طولانی بودن خطوط انتقال، پایداری شبکه‌ها را در

مقابل اغتشاشات کاهش می‌دهد. از طرف دیگر به منظور استفاده‌ی حداکثری از سرمایه گذاری‌های

انجام شده در امر تولید، نیروگاه‌های تولید در صنعت برق در حد بالای ظرفیت خود کار می‌کنند. این

موضوع نیز از جمله مواردی است که از پایداری سیستم قدرت به شدت می‌کاهد. در این میان با صرف

نظر از بحث‌های اقتصادی در حالت بروز خطا باید نوسانات حالت گذرا به حداقل ممکن برسد و خطای

ماندگار در سیستم وجود نداشته باشد [6].

4-1- نحوه محاسبات و مطالعات پایداری در شبکه‌ها

سیستم قدرت باید به صورت یک سیستم غیرخطی برای اغتشاشات بزرگ مدل شود. امنیت سیستم‌های

قدرت به دو نوع امنیت استاتیکی و دینامیکی تقسیم می‌گردد. امنیت دینامیکی توانایی حفظ پایداری

دینامیکی و یا گذرای سیستم قدرت پس از وقوع اختلال بوده، در حالی که امنیت استاتیکی توانایی حفظ

و نگهداری متغیرهای بهره برداری مثل دامنه‌ی ولتاژ شین‌ها و توان عبوری از خطوط می باشد [7].

پایداری گذرا، توانایی سیستم قدرت در حفظ سنکرونیسم است زمانی که تحت تأثیر اغتشاشات گذاری

بزرگ مانند خروج ژنراتور از شبکه‌ی تولید یا از دست دادن یک بار بزرگ قرار می‌گیرد. چنین اغتشاش -

هایی موجب نوسانات بزرگی در زوایه‌ی روتور ژنراتورها، توان‌های انتقالی، ولتاژشین‌ها و سایر متغیرهای

سیستم می‌گردد. پایداری گذرا از مشخصه‌های غیرخطی سیستم قدرت تأثیر می‌پذیرد. اگر انحراف

زوایه‌ی پدید آمده، بین ماشین‌های سیستم درون کران‌های معینی باقی بماند، شبکه سنکرونیسم خود را

حفظ خواهد کرد. اما اگر سنکرونیسم، به واسطه ناپایداری گذرا از دست برود، پس از 2 تا 3 ثانیه از بروز

اغتشاش اولیه معلوم خواهد شد [7 و 16].

روش‌های متعددی تاکنون برای افزایش پایداری سیستم‌های قدرت ارائه شده‌است از جمله انواع

پایدارسازهای سیستم قدرت [8] و [9]، تغییر دهنده‌های فاز [10]، جبران‌کننده‌های توان SVC

[11 و 12]، ذخیره‌کننده‌های انرژی مغناطیسی ابر رسانا (SMES) [13] استفاده می‌شود. در سال‌های

اخیر نیز استفاده از روش U.P.F.C برای بهبود پایداری گذرا مورد توجه قرار گرفته است [14]. در این

پروژه مساله‌ی پایداری شبکه انتقال برق منطقه‌ای زنجان مد نظر است.

برای این منظور فرض می‌شود خطای سه فاز در ابتدای خط متصل به شین‌های نیروگاهی رخ داده و بعد

5 سیکل معادل 0.1 ثانیه خطا تشخیص داده شده و خطی که خطا در آن رخ داده توسط سیستم

حفاظتی از مدار خارج می‌شود.

[1] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definition, "Definition and Classification of Power System Stability" , IEEE Trans. on Power Systems, 19(2), pp. 1387-1401, 2004.

[2] Zhi-gang, N. L. D, Jian-guo, Z., "Real-Time transient stability prediction based on Relevance Vector learning mechanism for large-scale power system", Proc. IEEE, 2007

[3] Rovn Yak, S. , Kretsinger , S. , Throp, J. , and Brown, D. , "Decision Trees for real time transient stability prediction", IEEE Trans. , Power System, 9 , pp. 1417-1426,1994.

[4] Zhou, J. D. , Fauod, A. A. , "Application of artificial Neural Network in power system security and vulnerability assessment", IEEE Trans. on power systems, 9(1) , pp.525-532, 1994.

[5] Moulin, L. S., Alves da Silva, A. P., El-Sharkawi, M. A. , and Marks, R. J. , "Support Vector Machines for transient stability analysis of large-scale power systems", IEEE Trans. on Power Systems, 19(2), 2004.

[6] کراری، مهدی: دینامیک و کنترل سیستم‌های قدرت، چاپ اول ، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشگاه

صنعتی امیر کبیر، زمستان 82

[8] E. V. Larsen and D. A. Swann , "Applying Power System Stabilizers" ,IEEE Trans on power apparatus and systems ,Vol.pas-100, pp.3317-3046, 1981.

[9] Murdoch , A. Venkatataraman ,S. ; Sanchez- Gasca ; J. J. ;Lawson , R.A," Practical application consideration for Power System Stabilizer(PSS) Controls" ,IEEE Power Engineering Society Summer Meeting , 1999.

[10] H. Stemmeler and G. Guth, "The Thyristor Controlled Static Phase-Shifter a new Tool for Power Flow Control in AC Transmission System", Brown Boveri Review, Vol.69, pp73-78, 1982.

[11] Garham, J.L., Jr. Feliachi, A, "Power System Transient Stability Enhancement Using Static Var Compensators", Power Theory, 1998. Proceedings of the Thirtieth Southeastern Symposium on, pp: 133-237, 1998.

[12] Khaparde, S.A. Krishna, V., "Simulation of Unified Static Var Compensator Power System Stabilizer for Arresting Sub synchronous resonance", IEEE Transaction on, Power System, Vol.143, pp:1055-1062, Aug 1999.

[13] H. J. Boine and J. Fhner, "Commissioning Test of Bnnevihe power administration 30 Mj Superconducting Magnetic Energy Storage Unit", IEEE Trans on Power apparatus and systems, Vol.pas-104, No.2, pp.302-312, 1985.

[14] S. Limying charen, V. D. Annakkage and N. C. Pahalawaththa., "Effect of Unified Power Flow Controllers on Transient Stability", IEEE Prog-Gener. Transm. Distrib, Vol.145, No.2, 1998.

[15] باقری، امیر: گزارش مطالعات برنامه ریزی شبکه انتقال و فوق توزیع شرکت برق منطقه ای زنجان تا سال 1397، برق منطقه ای زنجان، 1392.

[16] گلستانی، الناز: مطالعه پایداری گذرای شبکه برق آذربایجان با طراحی کنترل کننده های مناسب و تنظیم پارامترهای AVR و گاورنر نیروگاه اردبیل، نهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران.