دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

تحلیل دینامیکی پایداری ولتاژ شبکه خوزستان و استفاده از شبکه عصبی در تشخیص فروپاشی ولتاژ

مستوره شایگان

اساتید راهنما:

دکتر محمود جورابیان- دکتر محسن صنیعی

***استادمشاور:* دکتر سعید ا... مرتضوی**

شهریور ۱۳۸۸

نام خانوادگی : شایگان نام : مستوره

عنوان پایان نامه :

تحلیل دینامیکی پایداری ولتاژ شبکه خوزستان و استفاده از شبکه عصبی در تشخیص فروپاشی ولتاژ

درجه تحصیلی : کارشناسی ارشد رشته برق گرایش : قدرت

دانشکده : مهندسی

تاریخ فارغ التحصیلی : ۱۳۸۸/۶/۲۳ تعداد صفحات : ۱۲۰

واژه های کلیدی : پایداری دینامیکی ولتاژ ، شبکه های عصبی ، MLP ، RBF

چکیده :

امروزه به دلیل رشد روز افزون میزان مصرف و محدودیت در احداث نیروگاهها ، پستها و خطوط ، سیستم های قدرت در نزدیکی حاشیه پایداری ولتاژ خود بهره برداری می گردند . در این شرایط تشخیص میزان فاصله سیستم تا مرز ناپایداری و فروپاشی ولتاژ ، در شرایط بهره برداری به منظور انجام اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه ، امری ضروری به نظر می رسد. با توجه به این نکته که پایداری ولتاژ یک پدیده دینامیکی است و تحلیل آن نیازمند شبیه سازیهای دینامیکی زمانبر و پیچیده است و عملا استفاده از آن در کاربردهای سریع بهره برداری وجود ندارد ، در این پایان نامه استفاده از شبکه های عصبی به منظور تشخیص فاصله تا ناپایداری و فروپاشی ولتاژ پیشنهاد می گردد.

آموزش و تست شبکه عصبی RBF و MLP به کار برده شده در این پایان نامه نشان داد ، شبکه های عصبی علاوه بر اینکه زمان محاسبات را به شدت کاهش می دهند ، نتایج محاسبات را نیز با خطای قابل قبولی ارائه می نمایند.

فهرست مطالب

چکیده ۱

۱ مقدمه ۳

۲ پایداری ولتاژ

۲-۱ مقدمه ٦

۲-۲ تعریف ناپایداری و فروپاشی ولتاژ ٦

۲-۲-۱ تعریف پایداری ولتاژ ۷

۲-۲-۲ تعریف Hiskens & Hill ۸

۲-۲-۳ تعریف IEEE ۹

۲-۲-٤ تعریف گلاویچ ۱۰

۲-۳ مفاهیم پایداری و فروپاشی ولتاژ ۱۰

۲-٤ مقیاس های زمانی و مکانیزم فروپاشی ولتاژ ۱۳

۲-٤-۱ ناپایداری ولتاژ گذرا (کوتاه مدت) ۱۳

۲-٤-۲ ناپایداری ولتاژ میان مدت ۱٤

۲-٤-۳ ناپایداری ولتاژ بلند مدت ۱۵

۲-۵ مکانیزم بازیابی بارهای وابسته به ولتاژ ۱٦

۲-٦ کنترل ناپایداری ولتاژ ۱۷

۲-٦-۱ مقابله با ناپایداری ولتاژ در مرحله طراحی ۱۹

۲-٦-۲ مقابله با ناپایداری ولتاژ در مرحله بهره برداری ۲۰

۳ مدلسازی دینامیکی سیستم قدرت

۳-۱ مدل سیستم قدرت ۲۲

۳-۲ مدلسازی ماشین سنکرون ۲۳

۳-۲-۱ معادلات ولتاژ استاتور ۲۳
۳-۲-۲ معادلات ولتاژ روتور ۲٤
۳-۲-۳ تبدیل پارک ۲٥
۳-۲-٤ معادلات پایه ای ۲٦
۳-۲-٥ معادلات پریونیتی ۲۷
۳-۲-٦ مدارهای معادل های محور d و p ۳۱
۳-۲-۷ پارامترهای استاندارد ماشین سنکرون ۳۲
۳-۳ مدلسازی سیستم تحریک ۳٥
۳-۳-۱ انواع سیستم تحریک ۳٦
۳-۳-۲ تنظیم کنندهٔ ولتاژ ژنراتورها ٤۰
۳-۳-۳ محدود کننده جریان تحریک..... ٤۰
۳-۳-٤ پایدار ساز سیستم قدرت (PSS) ٤۳
۳-۳-٥ یکسو ساز و جبران کننده بار ٤۳
۳-۳-٦ محدود کننده ولت بر هرتز ٤۳
۳-٤ مدلسازی توربین و گاورنر ٤٤
۳-٥ مدلسازی بار ٤٦
۳-٥-۱ مدلهای استاتیکی بار ٤۷
۳-٥-۲ مدلهای دینامیکی بار ٤۹

۴ شبکه های عصبی و کاربرد آنها در تشخیص فروپاشی ولتاژ

٤-۱ مقدمه ٥٥
٤-۲ تعریف شبکه های عصبی مصنوعی ٥٥
٤-۳ شبکه عصبی MLP ٥۷
٤-٤ شبکه عصبی RBF ٦۰
٤-٥ مقایسه شبکه MLP و RBF ٦۲
٤-٦ کاربرد شبکه های عصبی در تشخیص فروپاشی ولتاژ ٦٤
٤-۷ مروری بر مطالعات انجام شده ٦٦

۵ شبیه سازی

۵-۱ مقدمه ۷۰

۵-۲ مدلسازی دینامیکی شبکه ٤۰۰ کیلوولت خوزستان ۷۰

۵-۲-۱ مدلسازی ژنراتورهای شبکه خوزستان ۷۰

۵-۲-۲ مدلسازی سیستم تحریک ۷٤

۵-۲-۳ مدلسازی توربین/گاورنر ۷۵

۵-۲-٤ مدلسازی بار شبکه خوزستان ۷۷

۵-۳ شبیه سازی دینامیکی شبکه خوزستان ۷۸

۵-٤ آموزش و تست شبکه عصبی ۸۳

۵-٤-۱ آموزش و تست شبکه MLP ۸۵

۵-٤-۲ آموزش و تست شبکه RBF ۹۰

۵-٤-۳ تست کامل شبکه های عصبی ۹۳

۵-۵ تحلیل نتایج ۹٤

۵-۵-۱ مقایسه شبکه های MLP و RBF در تخمین DVSM ۹۵

۶ نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۷

پیوست ۱۰۰

مراجع و منابع ۱۱۸

فصل اول:

مقدمه

امروزه به دلیل رشد میزان مصرف و توسعه روز افزون صنعت و تکنولوژی از یک سو ، و محـدودیت هزینه و مکان احداث نیروگاهها و خطوط انتقال جدید (به خصوص در سیستم های تجدیـد سـاختار یافته) از سوی دیگر ، ناچاریم ، از حداکثر ظرفیت شبکه بهره برداری نمـاییم. ایـن امـر موجـب مـی گردد ، سیستم قدرت در برخی از حالتهای بهره برداری در نزدیکی حاشیه پایداری ولتـاژ خـود قـرار داشته باشد. از این رو در سیستم های قدرت جدید ، مسئله ناپایداری و فروپاشی ولتاژ بـیش از پـیش مورد توجه قرار گرفته است.

ناپایداری و فروپاشی ولتاژ ، اساسا یک پدیده دینامیکی هستند ، و به منظور تحلیل آنها نیـاز بـه شـبیه سازی دینامیکی کلیه اجزای شبکه از قبیل واحدهای ژنراتوری ، بارها و . . . ، وجود دارد.

شبیه سازی دینامیکی یک سیستم قدرت ، مستلزم حل معادلات دیفرانسیل شبکه قـدرت اسـت. حـل این معادلات ، برای یک سیستم قدرت چند شینه ، حتی با استفاده از نرم افزارهـای پیشـرفته ، بسـیار زمانبر است. و عملا استفاده از شبیه سازی دینامیکی در شرایط بهره بـرداری کـه نیازمنـد سـرعت در انجام اقدامات اصلاحی است ، امکان پذیر نمی باشد. استفاده از شبیه سازی استاتیکی نیـز ، هـر چنـد زمان پاسخ دهی را کوتاهتر خواهد نمود ، ولی دقت را تا حدود زیادی کاهش مـی دهـد. بنـابراین در شرایط بهره برداری نیازمند روشی هستیم که ، با دقت بالا ، زمان پاسخگویی را کاهش دهد.

در این پایان نامه برای نیل به این هدف ، استفاده از شبکه های عصبی پیشنهاد می گردد. در این روش با انجام شبیه سازی دینامیکی سیستم قدرت در شرایط مختلف (عادی یـا بـروز اخـتلال) ، داده هـای

لازم جهت آموزش شبکه عصبی آماده می گردد. سپس می توان از این شبکه عصبی در کاربردهای Online استفاده نمود.

در فصل دوم این پایان نامه ، به طور خلاصه مفاهیم و تعاریف مختلف پایداری ، ناپایداری و فروپاشی ولتاژ بیان گردیده ، و به راهکارهای کنترل ناپایداری ولتاژ در مرحله طراحی و بهره برداری اشاره شده است.

فصل سوم ، به نحوه مدلسازی دینامیکی سیستم قدرت ، اختصاص دارد. در این فصل نحوه مدلسازی دینامیکی اجزای مختلف شبکه از جمله ژنراتورها ، سیستم تحریک ، توربین و گاورنر و بارها شرح داده شده است.

در فصل چهارم ، به تشریح دو نوع شبکه عصبی MLP و RBF می پردازیم. و در ادامه نحوه عملکرد شبکه عصبی در تشخیص فروپاشی ولتاژ و تحقیقات انجام شده در این زمینه بیان می شود.

در فصل پنجم ، شبیه سازی دینامیکی شبکه ٤٠٠ کیلوولت خوزستان و شبکه عصبی طراحی شده برای این سیستم قدرت آمده است. در این فصل ابتدا ، مدلها و پارامترهای به کار رفته برای مدلسازی شبکه خوزستان را بیان می کنیم. سپس دو شبکه عصبی MLP و RBF را به منظور تشخیص مقدار مارجین پایداری ولتاژ به کار می گیریم. در انتهای این فصل ، دو شبکه عصبی به کار رفته از نظر کارایی با یکدیگر ، و همچنین از نظر دقت و زمان پاسخ دهی با دو روش شبیه سازی دینامیکی و استاتیکی (منحنی P-V) مقایسه شده اند.

فصل دوم :

پایداری ولتاژ

۲-۱ مقدمه

در سالهای اخیر با توجه به رشد میزان مصرف و هزینه بالای احداث نیروگاهها و خطوط انتقال به ویژه در سیستم های تجدید ساختار یافته شبکه های قدرت بعضاً در نزدیکی حاشیه پایداری ولتاژ خود بهره برداری می گردند و لذا این شکل پایداری در سالهای اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. خاموشیهای گسترده در برخی از کشورها در سالهای اخیر تاییدی براین مطلب است. در کشور ما هم به نظر می رسد با توجه به افزایش میزان مصرف و هزینهٔ بالای احداث خطوط و نیروگاههای جدید ناگزیر به بهره برداری از شبکه در بارگیری بالا در آینده ای نه چندان دور باشیم. در نتیجه پرداختن به مقوله پایداری ولتاژ و روشهای حفاظت شبکه در برابر ناپایداری ضروری به نظر می رسد.

۲-۲ تعریف ناپایداری و فروپاشی ولتاژ

ناپایداری و فروپاشی ولتاژ از جمله مفاهیمی هستند که با یکدیگر رابطه تنگاتنگی دارند و غالباً توسط مهندسین و متخصصین به جای یکدیگر استفاده می شوند. در بررسی این دو مفهوم گاهی اوقات تداوم حالت ماندگار سیستم قدرت مورد توجه قرار می گیرد که این امر به تحلیل استاتیک پایداری ولتاژ، منجر می‌گردد. ولی لازم به ذکر است که ناپایداری یا فروپاشی ولتاژ فرآیندهای دینامیکی هستند و باید توجه داشت لغت پایداری به یک سیستم دینامیکی اتلاق می‌گردد. به علاوه سیستم قدرت، یک سیستم دینامیکی بزرگ است. بنابراین برای تحلیل دقیق چنین پدیده ای شبیه سازی دینامیکی سیستم قدرت از دقت بسیار بالاتری برخوردار است.

" پایداری ولتاژ عبارت است از توانایی سیستم قدرت برای حفظ ولتاژ ماندگار در همه باسهای سیستم بعد از وقوع یک اغتشاش نسبت به شرایط اولیه عملکرد آن. این مسأله به توانایی حفظ یا بازیابی توازن میان تقاضای بار و تغذیه بار بستگی دارد. ناپایداری ولتاژ می‌تواند به صورت افت پیش‌رونده یا افزایش ولتاژ برخی از باسهای سیستم، رخ دهد که باعث از دست رفتن بار در یک ناحیه از سیستم قدرت یا قطع خطوط انتقال یا سایر ادوات سیستم توسط عناصر حفاظتی آنها می‌باشد و این مسئله می‌تواند به خروج پی‌درپی و پلکانی سایر ادوات تولید و انتقال قدرت، منجر گردد. خروجهای پی‌درپی عناصر سیستم و یا ایجاد شرایط عملکردی که در پی آن جریان تحریک ژنراتورهای سیستم به حد ماکزیمم و فراتر از آن می رسد ، موجب برهم خوردن همگامی[1] برخی از ژنراتورهای شبکه می‌گردد. فروپاشی ولتاژ فرآیندی است که طی آن، حوادث متوالی ناشی از ناپایداری ولتاژ منجر به خاموشی یا شرایط بد ولتاژی در یک بخش مهم یا تمام بخشهای سیستم قدرت می گردد. عملکرد پایدار یا ماندگار سیستم به دنبال رسیدن تپ ترانسفورماتورها به حد بالای خود و با قطع برخی بارهای سیستم در سطح ولتاژ پایین امکان‌پذیر است."[۲]

تعاریف مختلفی برای مفاهیم پایداری ، ناپایداری و فروپاشی ولتاژ وجود دارد در ادامه به برخی از این تعاریف می پردازیم.

۲-۲-۱ تعریف Cigre [۷]

- یک سیستم قدرت در شرایط بهره برداری ، به شرطی پایدار ولتاژ سیگنال کوچک است که ،

[1] Synchronism

به دنبال یک اغتشاش کوچک ، ولتاژ در نزدیکی بار ، برابر یا نزدیک بـه ولتـاژ قبـل از اغتشـاش باشد.

- یک سیستم قدرت در شرایط بهره برداری معین و در پی وقوع یک اختلال پایدار ولتاژ است، اگر ولتاژ در نزدیکی بارها به تعادل برسد.
- یک سیستم قدرت به سمت فروپاشی ولتاژ پیش می رود ، اگـر تعـادل ولتـاژ پـس از اخـتلال از حدود قابل قبول خارج شود.

۲-۲-۲ تعریف Hiskens & Hill [۸]

در این تعریف پایداری ولتاژ به دو دسته استاتیک و دینامیک تقسیم مـی شـود . در تعریـف پایـداری استاتیک ولتاژ داریم:

- ولتاژ باید در محدوده قابل قبول باقی بماند.
- سیستم قدرت باید در نقطه عملکرد توارن ولتاژ باشد.

نقطه عملکرد توازن ولتاژ ، به این معنی است که اگر توان راکتیو به سیستم تزریق شود یا ولتاژ در یک منبع ولتاژ افزایش یابد ، تغییرات ولتاژ شبکه قابل قبول باشد.

برای رفتار دینامیکی ناپایداری ولتاژ در این تعریف داریم:

- یک سیستم قدرت در شرایط عادی بهره برداری ، پایدار ولتاژ سـیگنال کوچـک اسـت ، اگـر بـه دنبال هر اغتشاش کوچک ، ولتاژ برابر و یا نزدیک ولتاژ قبل از اختلال باشد.

- سیستم قدرت در شرایط عادی بهره برداری و در حالت وقوع اختلال بزرگ ، پایدار ولتاژ اختلال بزرگ است ، اگر ولتاژ ها نزدیک به ولتاژهای قبل از اختلال باشند.
- سیستم قدرت در شرایط عادی بهره برداری و به دنبال اختلال بزرگ به سمت فروپاشی ولتاژ می رود ، اگر ولتاژ ناپایدار گردد یا با ولتاژ قبل از اختلال در تعادل نباشد.

۲-۲-۳ تعریف IEEE [۹]

- پایداری ولتاژ ، توانایی سیستم در حفظ ولتاژ در حالتی است که ، ادمیتانس بار و توان بار افزایش می یابد . در این شرایط باید ولتاژ و توان کنترل پذیر باشند.
- فروپاشی ولتاژ، پدیده ای است که به دنبال ناپایداری ولتاژ ، منجر به از دست رفتن ولتاژ در بخش قابل توجهی از سیستم می شود.
- امنیت ولتاژ ، توانایی سیستم برای حفظ پایداری خود ، نه تنها در شرایط عملکرد عادی بلکه بعد از یک خروج اضطراری[1] یا تغییر ناگهانی در سیستم.
- سیستم وارد حالت ناپایداری ولتاژ می شود، اگر اختلال ، افزایش بار یا تغییر ناگهانی در سیستم ، باعث کاهش سریع ولتاژ یا زوال ولتاژ گردد.

زوال ولتاژ ممکن است فقط چند ثانیه یا ۱۰ تا ۲۰ دقیقه طول بکشد. اگر این افت شدید ادامه یابد ، فروپاشی ولتاژ رخ می دهد.

[1] Contingency

۲-۲-٤ تعریف گلاویچ [1] [۱۰]

در این تعریف چارچوبهای زمانی مختلف فروپاشی ولتاژ تشریح می گردد.

- پایداری یا فروپاشی ولتاژ گذرا : اختلال بزرگ و پاسخ سریع سیستم قدرت و اجزای آن . چارچوب زمانی این پدیده ۱ تا چند ثانیه است ،که در این مدت زمان تجهیزات کنترل اتوماتیک ژنراتورها عکس العمل نشان می دهند.
- پایداری یا فروپاشی بلند مدت ولتاژ: اختلال بزرگ و پروسه بعد از آن بازیابی و تغییرات بار. چارچوب زمانی این پدیده در حدود ۰/۵ تا ۳۰ دقیقه است .

گلاویچ نیز تحلیل این پدیده را به دو بخش استاتیک و دینامیک تقسیم می کند. در تعریف گلاویچ به منظور بررسی دینامیکی پایداری ولتاژ معادلات دیفرانسیل سیستم به کار می روند.

۲-۳ مفاهیم پایداری و فروپاشی ولتاژ

به طور کلی می توان گفت ، عامل هدایت کنندهٔ سیستم به سمت ناپایداری ولتاژی، بارهای سیستم هستند. در پاسخ به یک اغتشاش مثل قطع یک واحد نیروگاهی، توان مصرفی بارهای سیستم بر اثر عملکرد بارهای موتوری، عمل تنظیم کننده‌های ولتاژ و تپ‌چنجر ترانسفورماتورها و

[1] Glavitch

رفتارترموستات‌ها، تمایل به باز یافت[1]خود را دارد. این باز یافت بار، وضعیت شبکه فشار قوی را به لحاظ افزایش مصرف توان راکتیو و در نتیجه کاهش بیشتر ولتاژ سمت فشارقوی بحرانی‌تر می‌کند. یکی ازعوامل اصلی که سبب ناپایداری ولتاژ می شود، افت ولتاژ ناشی از عبور توان اکتیو و راکتیو از امپدانس القایی خطوط انتقال، می‌باشد. این مسأله، ظرفیت انتقال توان اکیتو و راکتیو خطوط را محدود می‌کند. همچنین زمانی که برخی از ژنراتورهای سیستم به حد حرارتی جریان تحریک یا آرمیچر خود می‌رسند، انتقال توان و کنترل ولتاژ محدود می‌گردد. زمانی که به دنبال یک اغتشاش، تقاضای توان راکتیو، فراتر از حد قابل دسترسی تولید آن می شود، پایداری ولتاژ شدیداً به خطر می‌افتد.

ناپداری ولتاژ به طور عمده به صورت افت پیش‌روندهٔ ولتاژ در باسهای سیستم خود را نشان می دهد. با این حال این پدیده به صورت اضافه ولتاژ هم در شبکه‌های قدرت تجربه شده است [۱۱]. این فرآیند در اثر رفتار خازنی شبکه خطوط بسیار فشارقوی[2] در حالت بارگیری زیر بار طبیعی بار امپدانس موجی[3] همراه با محدود شدن جریان زیر تحریک ژنراتورهای سنکرون به حد پایینی رخ می‌دهد. این امر سبب می‌شود ژنراتورهای سنکرون عمل جذب توان راکتیو را به طور مناسب انجام ندهند. عدم توانایی مجموعه ژنراتورها و خطوط انتقال برای تأمین بار سیستم در شرایطی که مقدار آن از بار طبیعی کمتر است سبب این گونه ناپایداری ها می شود.

[1] Restore
[2] **E**xtra **H**igh **V**oltage
[3] **S**urge **I**mpedance **L**oad

پایداری ولتاژ به دو دسته به صورت زیر طبقه‌بندی می‌گردد [۱]:

- پایداری ولتاژ اغتشاش بزرگ: شامل توانایی سیستم به حفظ ولتاژ ماندگار و قابل قبول به دنبال وقوع یک اعتشاش بزرگ مانند وقوع خطا، از دست رفتن تولید و یا سایر حوادث مداری که در شبکه می‌تواند رخ دهد، می‌باشد. این توانایی بستگی به خود سیستم قدرت و مشخصات بار و نیز عملکرد متقابل کنترلها و حفاظتهای پیوسته یا ناپیوسته سیستم دارد. مشخص نمودن پایداری ولتاژ اغتشاش بزرگ نیاز به آزمایش پاسخ غیر خطی سیستم قدرت در یک مدت زمان کافی جهت شبیه‌سازی رفتارهای متقابل عناصری چون موتورها، تپ‌چنجرهای زیر بار و محدود کننده‌های جریان تحریک ژنراتورها، دارد. گستردگی دورهٔ زمانی این مطالعه، از چند ثانیه تا ۱۰ها دقیقه می‌تواند باشد.
- پایداری ولتاژ اغتشاش کوچک: عبارت است از توانایی سیستم قدرت به حفظ ولتاژ ماندگار قابل قبول در اثر انحراف‌های کوچک از وضعیت جاری مثل افزایش ملایم بار سیستم. این شکل از پایداری به مشخصهٔ بار، کنترلهای پیوسته و کنترلهای ناپیوسته در یک بازه زمانی مشخص بستگی دارد. این نوع نگرش به منظور تعیین چگونگی پاسخ ولتاژ سیستم به تغییرات کوچک، در هر بازهٔ زمانی، مفید است. با اتخاذ فرض‌های مناسب، معادلات سیستم را می‌توان حول یک نقطه کار خطی سازی نمود که محاسبهٔ حساسیت متغیرهای مهم را حول آن نقطه کار میسر می‌کنند و عامل شناسایی مناسبی به منظور تخمین پایداری شبکه می‌باشند. لازم به ذکر است که فرآیند خطی سازی برای برخی عملکردهای غیر خطی مثل تپ‌چنجرها - به

خاطر وجود باند مرده، گامهای ناپیوسته تپ و تأخیرهای زمانی – نمی‌تواند بـه خـوبی لحـاظ گردد. بنابراین لازم است یک ترکیب از تحلیل‌های خطی و غیر خطی، برای بیان رفتـار کامـل سیستم، به کار گرفته شود.

امنیت ولتاژ سیستم مفهومی است که در کنار پایداری ولتاژ و فروپاشی ولتاژ، مطرح مـی‌گـردد. امنیـت ولتاژ عبارتست از توانایی سیستم به حفظ پایداری پس از یـک رخـداد قابـل توجـه افـزایش بـار. بـه عبارت دیگر وجود یک حاشیه قابل توجه از نقطهٔ عملکرد تا نقطهٔ ناپایداری ولتاژ (یا نقطـه مـاکزیمم حد توان انتقالی) در هنگام بروز یک اغتشاش بزرگ، امنیت ولتاژ را تأمین می‌کند.[۱]

۲-٤ مقیاس های زمانی و مکانیزم فروپاشی ولتاژ

ناپایداری ولتاژ بازهٔ گسترده‌ای از زمان را از کسری از ثانیه تا ۱۰ها دقیقه شامل می شـود. کـه در هـر بازه زمانی ، عناصر خاصی بر پدیده ناپایداری موثرنـد. کـه در ادامـه بـه مقیـاس زمـانی ناپایـداری و تجهیزات تاثیر گذار در آن اشاره خواهد شد.

۲-٤-۱ ناپایداری ولتاژ گذرا (کوتاه مدت)

این نوع از ناپایداری شامل عملکرد دینامیکی سریع اجزای بار مانند موتورهای القایی، بارهای با کنترل الکترونیکی و مبدلهای HVDC و نیز عملکرد عناصر جبرانسازی SVC یا عناصر FACTS و همچنین دینامیک AVR و تحریک ژنراتورهای سنکرون می‌باشد. روش تحلیـل ایـن شـکل از پایـداری ولتـاژ

بسیار شبیه روش تحلیل پایداری زاویه‌ای است و نیازمند مدلسازی بار است. بازه زمانی رخداد این فرآیندها، از کسری از ثانیه تا حدود چند ثانیه می‌باشد. در واقع تمایز بین ناپایداری ولتاژگذرا و ناپایداری زاویه‌ای خیلی محسوس نیست. سئوال مهم اینجاست که از دست رفتن همگانی ژنراتورها منجر به فروپاشی ولتاژ می‌گردد یا عکس این مطلب صادق است.

برای افت شدید ولتاژ مثلاً در خلال رفع کُند یک اتصال کوتاه در شبکه، توان راکتیو کشیده شده توسط موتورهای القایی زیاد شده و این مطلب در صورتی که آن موتورها توسط رله‌ها یا کنتاکتورهای مربوطه قطع نگردند، خود منجر به افت شدیدتر ولتاژ و در نهایت فروپاشی ولتاژ می‌گردند. مشخصهٔ بانکهای خازنی با توجه اینکه توان راکتیو تزریق شده توسط آنها متناسب با مجذور ولتاژ است، در ولتاژهای بسیار پایین به علت کاهش تزریق توان راکتیو ، به بحرانی‌تر شدن مسأله، کمک کند.

نرخ کاهش ولتاژ سریع‌تر از نرخ کاهش فرکانس است. کاهش ولتاژ روی بارهای وابسته به ولتاژ اثر گذاشته و با کاهش آن بارها، نرخ افت فرکانس کاهش می یابد و لذا حذف بار فرکانسی که معمولترین حذف بار در سیستمهای قدرت است، با تأخیر بیشتری صورت می‌گیرد. از طرفی دیگر رله‌های حذف بار فرکانسی رایج، در اثر ولتاژ پایین عمل نمی‌کنند. این مسأله خود سبب هدایت بیشتر سیستم به سمت فروپاشی ولتاژ است.

۲-٤-۲ ناپایداری ولتاژ میان مدت

بازهٔ زمانی مورد توجه در این شکل از پایداری به چندین دقیقه به طور نوعی ۲ تا ۳ دقیقه هم

می‌رسد. این فرآیند شامل بارگیری زیاد سیستم و عبور توان بالا از مراکز تولید دور دست است که با یک حادثه بزرگ ناگهانی مثل خروج یک ژنراتور در یک ناحیه از بار و یا خروج یک خط انتقال مهم همراه می گردد. بلافاصله پس از حادثه، سیستم به خاطر عملکرد بارهای حساس به ولتاژ، پایداری گذرای خود را حفظ می کند. لیکن در ادامه مصرف توان راکتیو خطوط انتقال باقی مانده که توان را به ناحیه بار منتقل می کنند بالا رفته و در نتیجه افت ولتاژ در نواحی بار زیاد شود. تپ چنجر ترانسفورماتورهای توان بالای شبکه قدرت سعی در باز گرداندن ولتاژ به حد قابل قبول در سمت بار می کنند. این مطلب خود سبب افزایش تلفات راکتیو خطوط انتقال در سطح فشارقوی و کاهش بیشتر ولتاژ می‌گردد. ژنراتورها دچار اضافه تحریک شده و محدود کننده‌های تحریک آنها به طور اتوماتیک (با عملکرد اوپراتورها به طور دستی) جریان تحریک آنها را هنگامی که ظرفیت حرارتی - زمانی تحریک آنها کامل می‌شود مثلاً بعد از یک یا ۲ دقیقه به حد نامی بر می‌گرداند و ژنراتورها توان راکتیو اضافی را نمی‌توانند تأمین کنند. در نتیجه مجموعهٔ شبکه تولید و انتقال قادر به تأمین بار و مصرف بالای توان راکتیو نخواهد بود و کاهش سریع ولتاژ، به وقوع می‌پیوندد. در این حالت، فروپاشی جزئی یا کامل ولتاژ اتفاق می افتد و به دنبال آن فروپاشی عملکرد موتورهای القایی و عملکرد رله‌های حفاظتی در تمام یا بخشی از سیستم قدرت رخ خواهد داد[۲].

۲-٤-۳ ناپایداری ولتاژ بلند مدت

ناپایداری در این حالت دروهٔ زمانی طولانی را شامل می‌شود(چندین دقیقه تا حتی چندین ساعت) و

عامل اصلی آن بارگیری شدید سیستم قدرت است. این امر می‌تواند در اثر افزایش سریع بار شبکه در ساعات پیک مصرف یا در اثر افزایش بسیار سریع توان انتقالی از بعضی از خطوط انتقال باشد. در این صورت عملکرد اوپراتور از قبیل کاربرد به موقع تجهیزات توان راکتیو در شبکه یا حذف بار برای جلوگیری از وقوع ناپایداری ضروری است. در این حالت فاکتورهایی از قبیل حد زمانی اضافه بار خطوط انتقال (شامل چند ۱۰ دقیقه) یا افزایش ضریب همزمانی مصرف بارهای انرژی ثابت مانند بارهای کنترل ترموستاتی بر اثر کاهش ولتاژ بسیار قابل توجه هستند. مرحله نهایی ناپایداری بلند مدت رفتار عناصر سریع همچون موتورهای القایی و ... در اثر کاهش شدید ولتاژاست، که در بخشهای قبلی به آنها اشاره شد[۲].

بررسی رفتار متقابل عناصر شبکه در بازه های زمانی مربوطه، اهمیت بسیار دارد. بعنوان مثال عمل محدود کنندهٔ جریان تحریک ژنراتورها از تنظیم ولتاژ توسط AVR به طور طبیعی، جلوگیری می‌کند و یا رفتار تپ چنجر ترانسفورماتورها در تنظیم ولتاژ، روی فرآیند افزایش ضریب همزمانی بارهای انرژی ثابت تأثیر منفی دارد.

۲-۵ مکانیزم بازیابی بارهای وابسته به ولتاژ

همچنان که اشاره شد، پایداری ولتاژ را می‌توان پایداری بار نامید[۲]. بازیافت بارهایی که به خاطرسطح ولتاژ پایین شبکه به طور موقت کاهش یافته‌اند از مهمترین نمودهای پایداری ولتاژ به حساب می‌آید. بارهای اکتیو شبکه قدرت غالباً در ۳ مکانیزم بازیافت می‌شوند: