بسم الله الرّحمن الرّحيم

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه

کارشناسی ارشد قدرت

ارزیابی قابلیت اطمینان طرح های حفاظتی خاص

نگارنده

ایرج رحیمی پردنجانی

استاد راهنما

دکتر حسین عسکریان ابیانه

استاد مشاور

دکتر حسام الدین صادقی

دی ۱۳۸۶

بسمه تعالي

تـاريخ: .....

شماره مدرک

فـرم اطلاعات پایان‌نـامه
کارشنـاسی- ارشد و دکتـرا
کتابخـانه مرکـزی

مشخصات دانشجو	نام خانوادگی : رحیمی پردنجانی	نام : ایرج	شماره دانشجویی: ۸۴۱۲۳۱۲۰	
	دانشکده: برق	رشته تحصیلی: برق	گروه: قدرت	
عنوان	ارزیابی قابلیت اطمینان طرح های حفاظتی خاص			
Title :	**Reliability Evaluation of Special Protection Schemes**			

استاد راهنما	نام خانوادگی : عسکریان ابیانه نام: حسین	درجه و رتبه استاد	نام خانوادگی : نام:	درجه و رتبه
استاد مشاور	نام خانوادگی : صادقی نام : حسام الدین	درجه و رتبه استاد	نام خانوادگی : نام:	درجه و رتبه

دانشنامه	کارشناسی ○ ارشد ✹ دکترا ○	سال تحصیلی: ۸۷-۱۳۸۶
نوع پروژه	کاربردی ✹ بنیادی○ توسعه ای○ نظری○	

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات: ۹۸	تصویر: ✹	جدول: ✹	نمودار: ✹	نقشه: ○	واژه‌نامه: ○	تعداد مراجع: ۵۱	تعداد ضمائم: ۰

زبان متن	فارسی ✹ انگلیسی ○	چکیده	فارسی ✹ انگلیسی ✹
یاداشت	لوح فشرده ✹ دیسکت فلاپی○		
توصیفگر			
کلید واژه فارسی	طرح حفاظتی خاص، طرح خروج دهنده ژنراتور، قابلیت اطمینان، ریسک، ناپایداری گذرا		
کلید واژه لاتین	**Special Protection Scheme، Generator Rejection Scheme، Reliability، Risk، Transient Instability**		

تقدیم به

روح پاک پدرم

مادر فداکار و عزیزم

و همه آنهایی که حقی بر گردن من دارند.

با سپاس فراوان از اساتید گرانقدر دکتر عسکریان ابیانه و دکتر صادقی که در تمام مدت انجام پروژه و در مدت تحصیل راهنما و مشاوری دلسوز بودند.

همچنین برخود لازم می‌دانم از آقای مهندس کاظم مظلومی به خاطر کمکها و راهنماییهای بی دریغ تشکر و قدردانی نمایم.

چکیده

طرح های حفاظتی خاص (SPS)، طرح هایی هستند که با تشخیص شرایط خاص و غیرمعمول در شبکه که باعث ایجاد فشارهایی بر شبکه قدرت می شوند، وارد عمل شده و بر اساس یک سری عملکردهای از پیش تعیین شده این شرایط خاص را کنترل می کنند. در نتیجه SPS ها می توانند موجب بهبود عملکرد، افزایش ظرفیت انتقال و افزایش امنیت شبکه در مقابل اغتشاشات شدید شوند. با این حال اعتماد بیش از حد به SPS ممکن است بسیار خطرناک باشد. زیرا SPS ها در مواقعی عمل می کنند که شبکه در اثر یک اغتشاش شدید، تحت فشار زیادی قرار دارد و لذا خطای عملکرد SPS می تواند عواقب وخیمی به دنبال داشته باشد. در نتیجه ارزیابی قابلیت اطمینان SPS و اطمینان پیدا کردن از اینکه SPS می تواند با احتمال قابل قبولی عملکرد صحیحی داشته باشد، امری ضروری می باشد.

یکی از اهداف این پروژه ارزیابی قابلیت اطمینان SPS می باشد. برای این منظور، ابتدا پروسه ای کلی ارائه شده و سپس این پروسه بر روی دو نمونه SPS خاص از نوع طرح خروج دهنده ژنراتور (GRS)، پیاده سازی شده و نتایج بررسی می شوند. ارزیابی قابلیت اطمینان SPS دید خوبی در مورد عملکرد SPS در آینده به دست می دهد. با این حال برای اینکه مطالعه کاملی داشته باشیم، لازم است تاثیر SPS بر روی شبکه نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور، در این پروژه از پارامتر ریسک استفاده می شود. لذا پروسه ای کلی نیز برای تحلیل ریسک SPS ارائه شده و این پروسه بر روی دو نمونه SPS مورد نظر پیاده سازی می شود. نتایج تحلیل ریسک، تاثیر SPS بر شبکه را در شرایط مختلف عملکرد شبکه تعیین کرده و می تواند معیار مناسبی برای اتخاذ تصمیم گیری های لازم در SPS باشد.

یکی دیگر از اهداف این پروژه ارائه راهکاری برای کاهش ریسک SPS می باشد. برای این منظور پیشنهاد می شود که به جای تصمیم گیریهای از پیش تعیین شده بر اساس شبیه سازی ها، با استفاده از روش های مناسب، SPS براساس شریط زمان واقعی شبکه و به صورت خودکار عمل کند. در این پروژه روشی برای پیش بینی ناپایداری گذرا جهت استفاده در GRS پیشنهاد شده و سپس با استفاده از این روش، یک GRS که فقط بر اساس شرایط زمان واقعی عمل می کند، طراحی می شود. GRS طراحی شده بر روی دو شبکه تست پیاده سازی شده و عملکرد آن ارزیابی می شود. در انتها، با استفاده از تحلیل ریسک، تاثیر GRS پیشنهادی در ریسک شبکه مورد ارزیابی قرار می گیرد.

کلمات کلیدی: طرح حفاظتی خاص (Special Protection Scheme)- طرح خروج دهنده ژنراتور (Generator Rejection Scheme)- قابلیت اطمینان (Reliability)- ریسک (Risk)- ناپایداری گذرا (Transient Instability).

فهرست مطالب

فصل اول: طرح های حفاظتی خاص و لزوم ارزیابی قابلیت اطمینان در آنها ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- طرح های حفاظتی خاص ۱

۱-۳- لزوم استفاده از طرح های حفاظتی خاص ۳

۱-۴- انواع طرح های حفاظتی خاص ٤

۱-٤-۱- دسته بندی بر اساس نوع تحریک ٤

۱-٤-۲- دسته بندی بر اساس تاثیر عملکرد ٥

۱-۴-۳- دسته بندی بر اساس نوع عملیات اصلاحی ۸

۱-۵- تاریخچه استفاده از طرح های حفاظتی ۱۰

۱-۶- لزوم ارزیابی قابلیت اطمینان در *SPS* ۱۲

۱-۷- لزوم تحلیل ریسک در طرح های حفاظتی خاص ۱۷

۱-۸- ساختار پروژه ۱۸

فصل دوم: ارزیابی قابلیت اطمینان و تحلیل ریسک در *SPS* ۱۹

۲-۱- مقدمه ۱۹

۲-۲- تئوری قابلیت اطمینان ۱۹

۲-۳- مروری بر روشهای ارزیابی قابلیت اطمینان ۲۱

۲-۳-۱- روش FMEA ۲۱

۲-۳-۲- روش FTA ۲۲

۲-۳-۳- روش مدل سازی شبکه ۲۲

۲-۳-۴- روش مارکوف ۲۳

۲-۴- ارزیابی قابلیت اطمینان *SPS* ۲٦

۲-۴-۱- توصیف SPS ۲۷

۲-۴-۲- انجام FMEA ۲۷

۲-۴-۳- تشکیل مدل مارکوف ۲۷

۲-۴-۴- محاسبه احتمال حالت‌ها ۲۷

۲-۵- تحلیل ریسک ۲۸
۲-۵-۱- تعیین حوادث ۲۸
۲-۵-۲- تعیین علل ریسک و فرمول بندی کردن آن ۲۸
۲-۵-۳- محاسبه ریسک ۲۹
۲-۵-٤- تصمیم گیری ۲۹
فصل سوم: ارزیابی قابلیت اطمینان و ریسک در دو GRS نمونه ۳۱
۳-۱- GRS نمونه طراحی شده برای شبکه WSCC ۳۱
۳-۱-۱- معرفی شبکه و GRS ۳۱
۳-۱-۲- ارزیابی قابلیت اطمینان GRS ۳۳
۳-۱-۳- تحلیل ریسک ٤۰
۳-۱-۴- تصمیم گیری ٤٦
۳-۱-۵- تحلیل نتایج ٤٦
۳-۲- GRS نمونه طراحی شده برای شبکه تهران ۵۰
۳-۲-۱- معرفی شبکه و GRS ۵۰
۳-۲-۲- ارزیابی قابلیت اطمینان GRS ۵۳
۳-۲-۳- تحلیل ریسک ٦۱
فصل چهارم: ارائه یک طرح حفاظتی بر پایه پیش بینی ناپایداری گذرا ۷۱
۴-۱- مقدمه ۷۱
۴-۲- پیش بینی ناپایداری گذرا ۷۲
٤-۲-۱- مروری بر روش های موجود ۷۲
۴-۲-۲- ارائه روشی برای پیش بینی ناپایداری گذرا ۷٤
۴-۳- ارائه یک طرح خروج دهنده ژنراتور بر اساس پیش بینی ناپایداری ۷٦
۴-۳-۱- مشکلات طرح خروج دهنده ژنراتور طراحی شده بر اساس شبیه سازی ها ۷٦
۴-۳-۲- طرح خروج دهنده ژنراتور ارائه شده بر اساس پیش بینی ناپایداری گذرا ۷۸
۴-۴- پیاده سازی GRS پیشنهاد شده در دو شبکه تست ۷۹
۴-۴-۱- پیاده سازی بر روی شبکه ۹ شینه WSCC ۷۹
۴-۴-۲- پیاده سازی بر روی شبکه ۳۹ شینه IEEE ۸۳
۴-۵- ارزیابی تاثیر GRS پیشنهاد شده در ریسک ۸٦
۴-۵-۱ تعیین حوادث ۸۷

۴-۵-۲- تحلیل خسارت ۸۸
۴-۵-۳- ریسک بدون GRS ۸۸
۴-۵-۴- ریسک با GRS قدیمی ۸۸
۴-۵-۵- ریسک با GRS پیشنهاد شده ۹۰
۴-۵-۶- تحلیل نتایج ۹۱
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهاد ۹۳
۵-۱- نتیجه گیری ۹۳
۵-۲- پیشنهاد برای انجام کارهای آینده ۹٤
فصل ششم: مراجع ۹٦

فصل اول: طرح های حفاظتی خاص و لزوم ارزیابی قابلیت اطمینان در آنها

۱-۱- مقدمه

در عصر حاضر از یک طرف محدودیت های زیست محیطی و اقتصادی، ساخت نیروگاهها و خطوط انتقال جدید را مشکل ساخته است و از سوی دیگر روند رو به رشد مصرف انرژی الکتریکی، تجدید ساختار ایجاد شده در صنعت برق و رقابتی شدن این صنعت، همگی باعث شده اند که سیستم های قدرت نزدیک به حدود پایداری خود مورد بهره برداری قرار گیرند.

در این شرایط وقوع حوادث و خطاهای ممکن در شبکه قدرت اگر کنترل نگردد، به سرعت در شبکه گسترده گشته و ممکن است باعث فروپاشی جزیی یا کلی شبکه گردد. در صورت بروز این حالت، بازیابی[1] شبکه مستلزم عملیات پیچیده و دشواری خواهد بود، ضمن اینکه مصرف کنندگان در این مدت از انرژی محروم می باشند. لذا لازم است تمهیداتی برای از بین بردن یا حداقل کم کردن عواقب چنین حوادثی اندیشیده شود. یکی از این تمهیدات، استفاده از طرح های حفاظتی خاص می باشد.

۱-۲- طرح های حفاظتی خاص

طرح های حفاظتی خاص[2] یا در اختصار SPS، طرح هایی هستند که با تشخیص شرایط خاص و غیرمعمول[3] در شبکه که باعث ایجاد فشارهایی بر شبکه قدرت می شوند، وارد عمل شده و بر اساس یک سری عملکردهای از پیش تعیین شده این شرایط خاص را کنترل می کنند [۱]، [۲].

---

[1] Restoration
[2] Special Protection Scheme
[3] Abnormal Conditions

شرایط مذکور شامل ناپایداری شبکه قدرت، اضافه بار خطوط، فروپاشی ولتاژ و ... می باشند و عملکرد های از پیش تعیین شده برای طرح حفاظتی ممکن است به صورت خروج یک یا چند خط از شبکه، خروج یک یا چند واحد تولیدی از نیروگاه، کاهش توان تبادلی از خطوط فشار قوی جریان مستقیم، حذف برخی بارهای مصرفی از شبکه، تغییر تنظیم گاورنر نیروگاه، تقسیم شبکه به قسمت های از پیش تعیین شده و ... باشد [۳].

به عبارت دیگر طرح های حفاظتی برای جلوگیری از فروپاشی جزئی یا کلی شبکه مورد استفاده قرار می گیرند. در نتیجه، این طرح های حفاظتی موجب بهبود امنیت شبکه شده و ظرفیت انتقال شبکه را افزایش می دهند. از آنجایی که SPS ها را می توان به سرعت و با هزینه کمی در شبکه مورد استفاده قرار داد، به عنوان یک جایگزین مناسب برای اضافه کردن خطوط انتقال جدید از آنها استفاده می شود [۴]. طرح های حفاظتی خاص به نام های مختلف دیگری نیز شناخته می شوند. از جمله این نام ها می توان به طرح های حفاظتی شبکه[۱]، طرح های واکنش اصلاحی[۲] و سیستم های عمل کننده در شرایط اضطراری[۳] و طرح های تدافعی[۴] اشاره کرد [۵].

در سال ۱۹۹۶ یک پروژه تحقیقاتی مشترک بین CIGRE و IEEE در زمینه استفاده از طرح های حفاظتی در صنعت برق انجام گرفته است [۳]. نتایج اصلی این تحقیقات را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

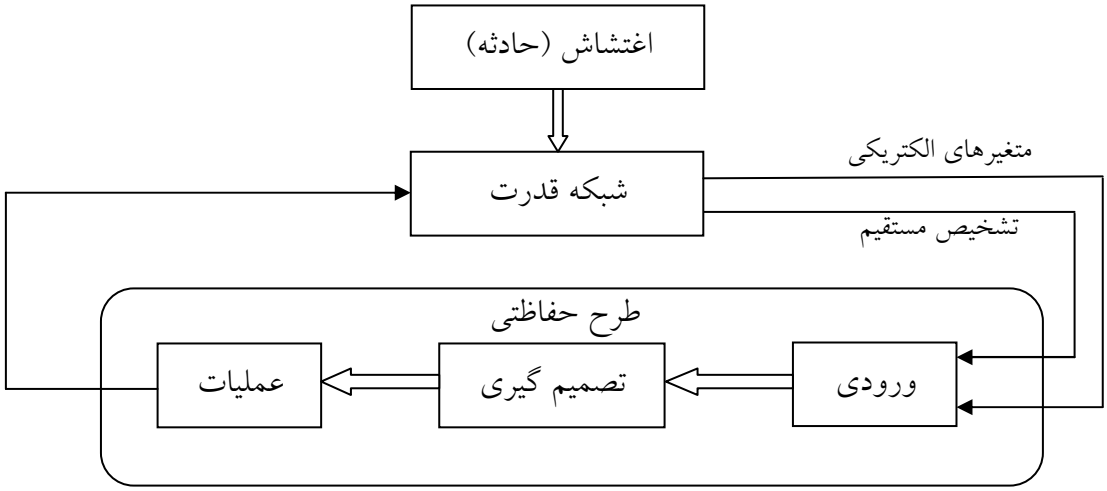
- پیشرفت در طرح های حفاظتی به روشنی قابل مشاهده است. بیشتر این طرح ها در دهه ۹۰ میلادی توسعه یافته اند و درجه پیچیدگی و دقت پاسخ دهی آنها به سرعت افزایش یافته است.
- تمامی طرح های حفاظتی نصب شده، برای شبکه خاصی طراحی شده اند و نمی توان به سادگی و با انجام تغییرات اندک آنها را برای شبکه دیگر مورد استفاده قرار داد.
- تمام طرح های حفاظتی یا به طور کامل یا اکثر قسمت های آنها به وسیله شرکت های بهره بردار طراحی و ساخته شده اند. تنها برخی قسمت های این طرح ها مانند الگوریتم و نرم افزار های مورد نیاز توسط شرکتها، برای بهره برداران شبکه تهیه شده است.
- هزینه عملکرد طر ح های حفاظتی کمتر از هزینه عمل نکردن آن در مواقع مورد نیاز می باشد. بنابراین استفاده از این طرح ها مقرون به صرفه می باشد.

---

[1] System Protection Scheme
[2] Remedial Action Scheme
[3] Contingency Arming Systems
[4] Defence Plans

- طرح های حفاظتی معمولا برای مقابله با شرایط اضطراری خاصی که به ندرت اتفاق می افتند، طراحی می شوند. با این حال این طرح ها باید در هر لحظه آماده عملکرد باشند.

در حالت کلی طرح حفاظتی را می توان مانند شکل ۱-۱ در نظر گرفت.



شکل ۱-۱: نمودار طرح حفاظتی خاص در حالت کلی

همانگونه که در شکل ۱-۱ مشخص است، با وقوع یک حادثه در شبکه، طرح حفاظتی با بررسی شبکه و دریافت مشخصات شبکه به عنوان ورودی، در قسمت مربوط به فرآیند تصمیم گیری، عکس العمل مناسب در مقابل حالت پیش آمده را اتخاذ نموده و در نهایت اقدام مشخص شده توسط طرح حفاظتی در شبکه اعمال می گردد.

۱-۳- لزوم استفاده از طرح های حفاظتی خاص

پس از شناخت اجمالی طرح های حفاظتی خاص، پاسخ به این سوال که چرا از این طرح ها استفاده می شود، مورد توجه قرار می گیرد. هرچند استفاده از طرحهای حفاظتی می تواند دلایل زیادی داشته باشد، لیکن می توان پنج دلیل عمده زیر را به عنوان دلایل اصلی استفاده از طرح های حفاظتی بیان نمود [۲]:

الف- بهبود عملکرد (بهره برداری) شبکه

ب- امکان بهره برداری از شبکه قدرت در شرایط نزدیک به حدود پایداری خود

ج- افزایش ظرفیت انتقال شبکه

د- استفاده موقت از طرح های حفاظتی برای جبران تاخیر در احداث امکانات جدید

ه- افزایش امنیت شبکه در مقابل حوادث شدید که منجر به فروپاشی شبکه می شوند.

دلایل ذکر شده و نیز وقوع فروپاشی های کلی یا جزئی در شبکه قدرت، لزوم استفاده از طرح های حفاظتی را ایجاد می نماید. این نکته قابل ذکر است که تفاوت اصلی طرح های حفاظتی خاص با تجهیزاتی که به نام ادوات کنترل انتقال[1] شناخته می شوند و شامل کنترل کننده های استاتیک[2]، کنترل کننده های پخش بار اکتیو و راکتیو، پایدار کننده های شبکه قدرت[3] و ... می باشند، در این است که این ادوات در جریان عملکرد عادی شبکه فعال بوده و کنترل دینامیکی شبکه را به عهده دارند، در حالیکه طرح های حفاظتی در موقعی که شبکه قدرت تحت فشار قرار می گیرد (عملکرد غیر عادی) وارد عمل شده و به انجام اعمال اصلاحی می پردازند.

به طور کلی SPS ها معمولا مشخصات زیر را دارند [۶]:

- با توجه به شرایط شبکه می توان به SPS فرمان عملکرد داد یا از عملکرد آن جلوگیری کرد.
- SPS ها در شرایط عادی سیستم های غیر فعالی هستند و تنها زمانی فعال می شوند که حوادث محرکی[4] که SPS برای آنها طراحی شده است رخ دهد. وقوع این حوادث معمولا نرخی در حدود یک بار در سال دارد.
- در اکثر موارد، واکنش SPS در مقابل حوادث محرک از قبل برنامه ریزی شده می باشد.
- معمولا در SPS از گونه ای از سیستم های مخابراتی استفاده می شود.

۱-۴- انواع طرح های حفاظتی خاص

طرح های حفاظتی از دیدگاههای مختلفی تقسیم بندی می شوند. ذیلا انواع دسته بندی طرح های حفاظتی توضیح داده می شود.

۱-٤-۱- دسته بندی بر اساس نوع تحریک

طرح های حفاظتی از نظر نوع تحریک شدن به دو دسته بر مبنای پاسخ[5] و بر مبنای رخداد[6] تقسیم می شوند [۲]. طرح های بر مبنای پاسخ با دریافت متغیرهای الکتریکی و طرح های بر مبنای رخداد با تشخیص مستقیم، حادثه مورد نظر را تشخیص داده و پس از آن عملیات کنترلی مورد لزوم را اعمال می کنند.

---

[1] Transmission Control Devices
[2] Static Var Compensator (SVC)
[3] Power System Stabilizer (PSS)
[4] Initiating Events
[5] Response-Base
[6] Event-Base

طرح های بر مبنای پاسخ، با اندازه گیری برخی پارامترهای شبکه مانند ولتاژ و زاویه ولتاژ شینه ها، فرکانس شبکه، درجه حرارت برخی تجهیزات خاص و ... و مقایسه آنها با مقادیر حدی از پیش تعیین شده، به محض خارج شدن یک یا تعدادی از این پارامترها از محدوده خود، وارد عمل شده و بر اساس دستورالعمل های موجود، واکنش کنترلی مناسبی را در شبکه اعمال می کنند.

طرح های بر مبنای رخداد، در صورت وقوع رخدادهای از پیش تعیین شده مانند خروج یک یا چند خط انتقال خاص، خروج یک یا چند نیروگاه خاص و یا هر اتفاق دیگری که تهدیدی برای امنیت شبکه بوده و انجام عملیات کنترلی برای آن برای پایدار نگه داشتن شبکه ضروری باشد، فعال شده و تغییرات لازم را در شبکه قدرت ایجاد می کنند.

طرح های حفاظتی بر مبنای پاسخ دارای سرعت پایین تری نسبت به طرح های بر مبنای رخداد می باشند، زیرا باید منتظر پاسخ پارامترهای شبکه به حادثه ایجاد شده بمانند. در مقابل طرح های بر مبنای رخداد تنها برای تعداد محدودی اتفاق خاص تعریف می شوند و در مقابل حوادث در نظر گرفته نشده، هیچ گونه کارایی نخواهند داشت.

لازم به ذکر است که گاهی اوقات ممکن است یک طرح حفاظتی برای تحریک شدن و عمل کردن هم از پارامترهای شبکه استفاده کند و هم از تشخیص مستقیم. به عبارت دیگر برخی طرح ها ممکن است به صورت ترکیبی از بر مبنای پاسخ و بر مبنای رخداد باشند. برای مثال SPS نشان داده شده در شکل ۱-۱ چنین شرایطی را دارد.

۱-٤-۲- دسته بندی بر اساس تاثیر عملکرد

از نظر تاثیر عملکرد طرح حفاظتی بر عملکرد شبکه و بهبود شاخص های آن، می توان طرح های حفاظتی را به انواع زیر دسته بندی کرد [۷]:

الف- طرح حفاظتی برای بهبود پایداری گذرا

ب- طرح حفاظتی برای بهبود پایداری فرکانس

ج- طرح حفاظتی برای بهبود پایداری ولتاژ

د- طرح حفاظتی برای بهبود پایداری سیگنال کوچک

ذیلا توضیح مختصری در مورد این دسته ها داده می شود:

الف- طرح حفاظتی برای بهبود پایداری گذرا

ناپایداری گذرا عبارت است از ناتوانی شبکه قدرت در سنکرون نگه داشتن ژنراتورها پس از وقوع یک حادثه شدید و ناگهانی. علت وقوع این نوع ناپایداری این است که وقوع یک حادثه شدید مانع از آن می شود که ژنراتور کل توان الکتریکی خروجی خود را به شبکه تحویل دهد. در نتیجه

این توان اضافی بوسیله روتور ژنراتور جذب شده و این باعث افزایش انـرژی جنبشـی روتـور و در نتیجه به یکباره شتاب گرفتن روتور می شود. در مورد پایداری گذرا، اغتشاش شدید معمولا خـروج یکی از خطوط متصل به یک نیروگاه برای رفع یک اتصال کوتاه رخ داده، می باشد.

به طور کلی دو دیدگاه در مقابله با این ناپایداری وجود دارد:

- جذب انرژی اضافی ایجاد شده
- کاهش توان مکانیکی اعمال شده به ژنراتور

راهکارهای به کار گرفته توسط حفاظت شبکه ای برای مقابله با این نوع ناپایداری عبارتند از:

- خروج ژنراتور از شبکه
- کاهش توان مکانیکی اعمال شده به ژنراتور از طریق شیرهای عمل کننده با سرعت بالا[1]
- وارد مدار کردن راکتورها در مجاورت ژنراتورها
- وارد مدار کردن مقاومت های دینامیکی

ب- طرح حفاظتی برای بهبود پایداری فرکانس

ناپایداری فرکانس عبارت است از ناتوانی شبکه قدرت در ثابت نگاه داشتن فرکـانس مانـدگار شبکه در محدوده مجاز بهره برداری. حفاظت فرکانسی توربین نیروگاهها و عملکرد تجهیزات جـانبی واحدهای تولید (خنک کننده ها، پمپ ها و ...) حدود مجاز تغییرات فرکانس را به شبکه تحمیل مـی کنند. برای تصحیح تغییرات کوچک فرکانس، کنترل اتوماتیک تولید[2] مورد استفاده قـرار مـی گیـرد و برای تغییرات بزرگتر استفاده از رزرو چرخان[3] و وارد مدار کردن واحدهای با زمان راه اندازی کم[4] به عنوان راه حل در نظر گرفته می شود. با این حال گاهی اوقات شدت اغتشـاش بـه حـدی اسـت کـه هیچکدام از این روش ها نمی تواند پاسخگو باشد. در این شرایط می توان از طرح های حفـاظتی بـا اعمال اصلاحی زیر استفاده کرد[۸] و [۹]:

- خروج ژنراتور
- کاهش سریع تولید با استفاده از شیرهای عمل کننده با سرعت بالا یا انحراف جریان بار
- کنترل توان در سیستم های فشار قوی جریان مستقیم
- حذف بار
- قطع اتوماتیک خطوط ارتباطی بین نواحی با هدف جلوگیری از گسترش اختلالات فرکانسی ایجاد شده و تصحیح فرکانس در ناحیه مختل شده به صورت محلی

---

[1] Fast Valving
[2] Automativ Governer Control (AGC)
[3] Spining Reserve
[4] Fast Start-up

- جزیره بندی شبکه قدرت، تقسیم شبکه قدرت به جزیره هایی با تولید و مصرف برابر

ج- طرح حفاظتی برای بهبود پایداری ولتاژ

ناپایداری ولتاژ عبارت است از ناتوانی شبکه در حفظ ولتاژ شینه ها در محدوده مجاز بهره برداری، در شرایط عادی و پس از وقوع حادثه در شبکه قدرت. به طور اساسی ناپایداری ولتاژ در صورت عدم وجود منبع توان راکتیو در برخی نقاط شبکه که با کاهش غیر قابل کنترل ولتاژ همراه است به وجود می آید. کمبود توان راکتیو می تواند دو دلیل داشته باشد:

- افزایش تدریجی بار مصرفی که ممکن است باعث شود بار راکتیو در برخی نقاط تامین نشود.
- تغییر ناگهانی توپولوژی شبکه که باعث تغییر پخش بار و در نتیجه کمبود توان راکتیو در برخی نقاط می گردد.

ناپایداری ولتاژ از نظر سرعت گسترش در شبکه به دو نوع کوتاه مدت و بلند مدت تقسیم می شود [۱۰]. ناپایداری ولتاژ کوتاه مدت در گستره چند ثانیه (یک تا سه ثانیه) بوده و نقش اصلی را در آن، دینامیک ماشین های القایی و سیستم های HVDC بر عهده دارند. ناپایداری ولتاژ بلند مدت از چند ده ثانیه تا چند دقیقه متغیر می باشد و عوامل اصلی در ایجاد آن، تغییر توپولوژی شبکه و افزایش تدریجی بار و به عبارتی دینامیک های آهسته سیستم می باشند.

طرح های حفاظتی برای مقابله با ناپایداری ولتاژ از سیستم پیش بینی ناپایداری ولتاژ[1] که از روش های مختلفی استفاده می کند [۱۱]، برای تشخیص احتمال ایجاد ناپایداری ولتاژ بهره جسته و ابزارهای زیر را برای مقابله با این نوع ناپایداری مورد استفاده قرار می دهد:

- تغییر سریع ولتاژ مرجع ژنراتورها (از طریق AVR)[2]
- سوئیچ اتوماتیک المان های شنت (بانک های خازنی و راکتورها)
- ناحیه بندی کنترل شده شبکه با هدف تبادل توان راکتیو تولیدی و مصرفی
- وارد مدار کردن واحدهای با زمان راه اندازی کم
- کنترل تپ ترانسفوراتورها اعم از مسدود کردن تپ یا کاهش نقطه تنظیم
- باز توزیع[3] سریع توان بین ژنراتورها
- حذف بار

د- طرح حفاظتی برای بهبود پایداری سیگنال کوچک

---

[1] Voltage Instability Predictor
[2] Automatic Voltage Regulator
[3] Redispatch

این نوع ناپایداری دارای دو مد متفاوت می باشد:

- مد محلی: عبارت از ناتوانی شبکه قدرت در سنکرون نگه داشتن ژنراتورها پس از وقوع حوادث کوچک می باشد که به طور مداوم در اثر تغییرات بار و تولید در شبکه ایجاد می شوند. اتفاقات آنقدر کوچک فرض می شوند که بتوان معادلات شبکه را به صورت خطی در نظر گرفت. در واقع این نوع مد بیانگر نواسانات واحد تولیدی نسبت به بقیه شبکه قدرت می باشد.
- مد بین ناحیه ای : عبارت از ناتوانی شبکه قدرت در کنترل نوسانات ژنراتورهای یک شبکه نسبت به شبکه دیگر می باشد که از طریق خطوط ارتباطی ضعیف به هم متصل شده اند.

از یک دیدگاه چون طرح های حفاظتی برای کنترل شرایط اضطراری در نظر گرفته شده اند و نه برای کنترل مداوم شبکه قدرت و از سوی دیگر نوسانات سیگنال کوچک تقریبا به صورت مداوم در شبکه وجود دارند، کنترل هایی که برای مقابله با این ناپایداری در نظر گرفته می شوند در گروه طرح های حفاظتی خاص قرار نمی گیرند. در اکثر موارد برای مقابله با این نوع ناپایداری از PSS استفاده می کنند. در واقع با استفاده از اندازه گیری های انجام شده بوسیله واحد اندازه گیر فازور[1]، PSS های موجود در شبکه را تنظیم و هماهنگ می کنند [۱۲].

۱-۴-۳- دسته بندی بر اساس نوع عملیات اصلاحی

طرح های حفاظتی را از لحاظ نوع عملیات اصلاحی می توان به ۱۳ نوع مختلف تقسیم کرد [۲]:

۱- خروج ژنراتور[2]

- یکی از رایجترین انواع طرح های حفاظتی می باشد.
- در اکثر موارد بر مبنای رخداد می باشد.
- موجب بهبود پایداری گذرا می شود.
- مهمترین عیب آن تغییر ناگهانی در شبکه می باشد.

۲- شیرهای تغذیه کننده توربین با سرعت بالا

- معمولا بر روی واحد های بخاری نصب می شود.
- باعث بهبود پایداری گذرا می شود.

---

[1] Phasor Measurement Unit
[2] Generator Rejection

- از معایب آن ایجاد حالت گذرای نامطلوب برای توربین و همچنین لزوم هماهنگی دقیق بین اجزای مختلف از جمله توربین، بویلر و کنترل کننده های آن می باشد.

۳- ورود واحد های با زمان راه اندازی کم[۱]

- در شرایط افت فرکانس یا احتمال فروپاشی ولتاژی استفاده می شود.
- موجب بهبود دینامیک های بلند مدت شبکه می شود.

۴- تغییر نقطه مرجع کنترل اتوماتیک تولید[۲]

- برای تصحیح حالت ماندگار فرکانس شبکه استفاده می شود.
- دارای سرعت عمل کمی بوده و برای تغییرات بزرگ کارایی ندارد.

۵- حذف بار فرکانسی[۳]

- یکی از رایجترین انواع طرح های حفاظتی می باشد.
- حذف بار بوسیله رله های فرکانسی
- حذف بار متعادل در شبکه های قدرت به هم پیوسته برای جلوگیری از اضافه بار خطوط انتقالی
- از معایب این نوع طرح ها، ایجاد تنشهای ولتاژی پس از حذف بار به خاطر وجود بانک های خازنی است.

۶- حذف بار ولتاژی[۴]

- هماهنگی آن با حذف بار فرکانسی باید رعایت شود.
- مکان و میزان حذف بار در این طرح ها بسیار مهم می باشد.

۷- حذف بار از راه دور[۵]

- در اکثر موارد بر مبنای رخداد می باشند.
- حذف فیدر بار بوسیله رله های فرکانسی، این رله ها وظیفه اولیه حفاظت محلی را هم دارند.

۸- تغییر توان تبادلی سیستم فشار قوی جریان مستقیم[۶]

- این سیستم ها دارای کنترل پذیری زیادی هستند.

---

[1] Fast Unit Start-Up
[2] AGC Set-Point Changes
[3] Under Frequency Load Shedding
[4] Under Voltage Load Shedding
[5] Remote Load Shedding
[6] HVDC Fast Power Change

- باید توجه داشت که عملکرد آنها با سایر طرح های حفاظتی تداخل پیدا نکند.

۹- سوئیچ اتوماتیک المان شنت[1]

- وارد مدار کردن راکتورها و یا خروج بانک خازنی برای کنترل اضافه ولتاژ
- وارد مدار کردن بانک خازنی و یا خروج راکتور برای کنترل افت ولتاژ

۱۰- مقاومت های بازدارنده[2]

- دارای سه قسمت اصلی، مقاومت شنت، تجهیزات سوئیچ و سیستم کنترل می باشد.
- سیستم کنترل آنها با نام آشکارساز سطح توان شتاب دهنده[3]، ناپایداری را پیش بینی می کند.

۱۱- قطع اتوماتیک خطوط ارتباطی[4]

- در حالتیکه نواحی تولید و مصرف به صورت واضح مشخص باشند.
- نواحی به وجود آمده باید دارای تعادل تولید و مصرف باشند.

۱۲- مسدود کردن تپ ترانسفورماتور و تنظیم نقطه مرجع[5]

- مقابله با ناپایداری ولتاژ

۱۳- افزایش سریع نقطه مرجع ولتاژ جبران کننده های سنکرون

- با نام کنترل کننده های اولیه ولتاژ هم شناخته می شوند.

۱-۵- تاریخچه استفاده از طرح های حفاظتی

زمان به کارگیری طرح های حفاظتی به طور دقیق مشخص نیست ولی برخی از این طرح ها سالیان درازی است که مورد استفاده قرار می گیرند. در سال ۱۹۹۲، IEEE-CIGRE's Survey استفاده از ۱۱۳ طرح حفاظتی خاص را گزارش داده است و درصد استفاده از هر نوع را به صورت جدول ۱-۱ ارائه داده است [۳]. در سال ۱۹۹۳ در شبکه WSCC، ۷۸ طرح حفاظتی خاص در حال استفاده بوده و درصد استفاده از هر نوع نیز به صورت جدول ۱-۲ بوده است [۱۳]. به عنوان مثالی دیگر می توان از شبکه کشور برزیل یاد کرد. جدول ۱-۳ نشان دهنده انواع SPS های به کار رفته در کشور برزیل می باشد [۱۴].

---

[1] Automatic Shunt Switching
[2] Breaking Resistor
[3] Accelerator power Level detector
[4] Controlled Opening of Interconnection
[5] Tap Changer blocking & Set Point Adjustment

جدول۱-۱: درصد استفاده از انواع SPS

انواع SPS	درصد استفاده
Generator Rejection	21.6
Load Rejection	*10.8*
Underfrequency load Shedding	*8.2*
System Seperation	*6.3*
Turbine Valve Control	*6.3*
Load & Generator Rejection	*4.5*
Stabilizers	*4.5*
HVDC Controls	*3.6*
Out-of-Step Relaying	*2.7*
Discrete Excitation Control	*1.8*
Dynamic Braking	*1.8*
Generator Runback	*1.8*
Var Compensation	*1.8*
Combination of Schemes	*11.7*
Others	*12.6*

جدول۱-۲: انواع SPS های مورد استفاده در شبکه WSCC

نوع SPS	تعداد SPS	درصد استفاده
Generator Rejection	31	39.7
Load Rejection	*4*	*5.1*
Out-of-Step Relaying	*5*	*6.4*
System Separation	*12*	*15.4*
Generator Runback	*3*	*3.9*
HVDC Controls	*2*	*3*
Others	*21*	*24.3*