به نام خدایی که در این نزدیکی است

تعهدنامه اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادی و معنوی مرتبت بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌های ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقررات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب پریسا فرح‌بخش ممقانی دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش قدرت دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۴۴۳۵۳۱۱۵ که در تاریخ ۱۳۹۲/۰۷/۱۴ از پایان‌نامه خود تحت عنوان:

پایدارسازی دینامیکی سیستم‌های قدرت با استفاده از کنترل کننده یکپارچه سیلان توان مبتنی بر دو اینورتر موازی

دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

۱) این پایان نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.

۲)مسؤلیت صحت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.

۳)این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.

۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقررات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مود استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام.

۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هرگونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

۶) در صورت ارائه مقاله مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان(دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.

۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق با ضوابط و مقررات مربوطه رفتار نماید.

نام و نام خانوادگی دانشجو: پریسا فرح‌بخش ممقانی

امضاء

تاریخ

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

عنوان:

پایدارسازی دینامیکی سیستم‌های قدرت با استفاده از کنترل کننده یکپارچه سیلان توان مبتنی بر دو اینورتر موازی

اساتید راهنما:

دکتر سید جلال سید شنوا

دکتر محمدرضا بنائی

پژوهشگر:

پریسا فرح‌بخش ممقانی

تابستان ۱۳۹۲

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

عنوان:

پایدارسازی دینامیکی سیستم‌های قدرت با استفاده از کنترل کننده یکپارچه سیلان توان مبتنی بر دو اینورتر موازی

پژوهشگر:

پریسا فرح‌بخش ممقانی

ارزیابی و تصویب شده‌ی کمیته داوران پایان‌نامه ---

نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	سمت	امضاء
سیدجلال سیدشنوا	استادیار	استاد راهنما	
محمد رضا بنائی	دانشیار	استاد راهنما	
		داور	

تابستان ۱۳۹۲

تقدیم به پدرم

که تکیه گاه گام هایم اند برای صعود

نشانه پروردگار مند برای عبود

و نیاز من برای وجود

تقدیم به ماردم

که قلبم سرشار از عشق اوست

و روحم نیاز مند مهر او

و وجودم ذره ایست در برابر بزرگی آنها

سپاسگذاری

بدین وسیله لازم می دانم از زحمات بی دریغ جناب آقای دکتر سید جلال سید شنوا، استاد راهنمای اول و جناب آقای دکتر محمّد رضا بنایی، استاد راهنمای دوم پایان نامه حاضر و گروه محترم مهندسی برق و به ویژه جناب آقای مهندس مهدی قاسمی که در این امر یاری رسانیده اند ، تشکّر و قدردانی نمایم .

پریسا فرح بخش ممقانی

شهریور ۱۳۹۲

اردبیل– ایران

نام و نام‌خانوادگی دانشجو: پریسا فرح‌بخش ممقانی

عنوان پایان‌نامه: پایدارسازی دینامیکی سیستم‌های قدرت با استفاده از کنترل کننده یکپارچه سیلان توان مبتنی بر دو اینورتر موازی

اساتید راهنما: دکتر سیدجلال سیدشنوا، دکتر محمدرضا بنائی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: برق گرایش: قدرت

دانشگاه: محقق اردبیلی دانشکده: فنی و مهندسی تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۰۷/۱۴ تعداد صفحه:۸۶

کنترل‌کننده‌های FACTS بطور محسوسی کارایی سیستم قدرت را افزایش داده و موجب بهبود کیفیت تولید شده‌اند. پارامترهای انتقال توان شامل ولتاژ شینه‌ها، راکتانس خط بین دو شینه و زاویه ولتاژ شینه‌ها را بطور دقیقی می‌توان توسط این سیستم‌ها کنترل کرد. در واقع می‌توان گفت که ادوات FACTS نماینده یک تکنولوژی پیشرفته و جدید در سیستم‌های الکتریکی قدرت هستند، که برنامه‌ریزی بر پایه آنها باعث کنترل پخش بار، افزایش محدوده پایداری خطوط انتقال، مینیموم کردن تلفات سیستم، بهبود پروفایل ولتاژ، کاهش تراکم و دیگر مزایا خواهد شد. UPFC یکی از ادوات FACTS است که قابلیت کنترل سه پارامتر کنترلی ولتاژ پایانی، امپدانس خط انتقال و زاویه فاز بین دو باس را هم به صورت همزمان، هم به طور مجزا دارد. UPFC این کار را از طریق کنترل فاز ولتاژ و جبران‌سازی موازی انجام می‌دهد. بنابراین از آن تنها برای کنترل جریان توان استفاده نمی‌شود، بلکه برای کنترل سیستم قدرت نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. اخیرا محققان مدل‌های دینامیکی UPFC را برای طراحی کنترل کننده مناسب برای پخش بار، کنترل میرایی و کنترل ولتاژ ارائه نموده‌اند. در این پایان‌نامه مدل دینامیکی ساختار جدیدی از UPFC که شامل دو مبدل موازی است، بررسی خواهد شد. استفاده از دو مبدل موازی به جای یک مبدل سری و یک مبدل موازی، منجر به ساده بودن طراحی، کنترل، اندازه‌گیری و حفاظت می‌شود. با توجه به اینکه یکی از وظایف ادوات FACTS پایدارسازی نوسانات سیگنال کوچک می‌باشد، در این پایان نامه سعی بر آن خواهد شد با به دست آوردن مدل دینامیکی ساختار فوق و همچنین با استفاده از مدل کنترلی مناسب به میراسازی اغتشاشات موجود در سیستم بپردازیم. جهت رسیدن به پایداری دینامیکی سریع و میرایی نوسانات سعی بر آن خواهد شد که از روش‌های بهینه سازی مناسبی استفاده گردد.

کلید واژه: **۱-پایدارسازی دینامیکی سیستم قدرت** **۲- میراسازی نوسانات فرکانس پایین**

۳-UPFC تعمیم یافته **۴-معادلات فضای حالت**

پریسا فرح‌بخش ممقانی	دکتر سیدجلال سیدشنوا	دکتر محمدرضا بنائی
امضاء	امضاء	امضاء

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب	صفحه
اختصارات	ز
فصل۱: کلیات تحقیق	
۱-۱- پیشگفتار	۲
۱-۲- پدیده پایداری	۲
۱-۳- اهداف پایان‌نامه	۵
فصل۲: مبانی نظری و پیشینه تحقیق	
۲-۱- مقدمه	۸
۲-۲-IPFC و مدل دینامیکی ارائه شده برای آن	۹
۲-۳- UPFC و مدل دینامیکی آن	۱۲
۲-۴- ساختار جدیدی از UPFC مبتنی بر دو مبدل موازی	۲۱
۲-۵- جمع‌بندی	۲۲
فصل ۳: مواد و روش‌ها	
۳-۱- مقدمه	۲۴
۳-۲- معرفی ساختار پیشنهادی	۲۴
۳-۳- معادلات دیفرانسیل حاکم بر سیستم	۲۶
۳-۴- معادلات غیر خطی فضای حالت	۳۴
۳-۵- خطی سازی معادلات غیر خطی	۳۵

۳-۶- به دست آوردن نقاط کاری سیستم در حالت دائمی ۴۱
۳-۷- اندازه گیری کنترل پذیری ۴۴
۳-۸- محاسبه SVD در شرایط مختلف بار ۴۵
۳-۹- ساختار کنترل کننده مبتنی بر UPFC و PSS ۴۵
۳-۱۰- کنترل کننده میراساز مبتنی بر الگوریتم‌های هوشمند ۴۶
۳-۱۱- الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO) ۴۷
۳-۱۲- الگوریتم رقابت استعماری ۴۸
۳-۱۳- روند شبیه سازی‌ها ۵۰
۳-۱۴- جمع‌بندی ۵۱

فصل٤: نتایج شبیه‌سازی‌ها

۴-۱- مقدمه ۵۳
۴-۲- اندازه گیری کنترل پذیری ۵۳
۴-۳- نتایج شبیه سازی به دست آمده بدون اعمال کنترل کننده ۵۶
۴-۳-۱- حالت بار سبک ۵۶
۴-۳-۲- حالت بار نامی ۵۸
۴-۳-۳- حالت بار سنگین ۶۱
۴-۴- نتایج شبیه سازی به دست آمده با اعمال کنترل کننده ۶۳
۴-۴-۱- روش کلاسیک ۶۳
۴-۴-۱-۱- حالت بار سبک ۶۴
۴-۴-۱-۲- حالت بار نامی ۶۶
۴-۴-۱-۳- حالت بار سنگین ۶۹

۴-۴-۲- روش‌های هوشمند ۷۱

۴-۵- به دست آوردن یک ضریب برای تمام شرایط باری ۷۴

۴-۶- مقایسه ساختار پیشنهادی با ساختار متداول UPFC ۷۶

۴-۷- جمع بندی ۷۸

فصل۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری ۸۰

۵-۲- پیشنهادات ۸۲

پیوست‌ها

پیوست ۸۳

مراجع

مراجع ۸۵

فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل	صفحه
شکل ۲-۱ سیستم قدرت تک ماشینه با باس بینهایت با سه خط مجهز به IPFC	۹
شکل ۲-۲ بلوک دیاگرام پیشنهادی برای سیستم قدرت مجهز به IPFC	۱۰
شکل ۲-۳ سیستم حلقه بسته به همراه کنترل کننده IPFC	۱۱
شکل ۲-۴ ساختار کنترل کننده پیشنهادی به همراه RNN	۱۲
شکل ۲-۵ ساختار متداول UPFC	۱۳
شکل ۲-۶ مدل اصلاح شده هفرون فیلیپس خطی شده	۱۴
شکل ۲-۷ UPFC با کنترل کننده پسفاز پیشفاز	۱۵
شکل ۲-۸ UPFC با کنترل کننده پسفاز پیشفاز و تنظیم کننده ولتاژ لینک DC	۱۵
شکل ۲-۹ ساختار کنترل کننده پیشنهادی به همراه RNN	۱۶
شکل ۲-۱۰ ساختار پیشنهادی برای UPFC در مرجع ۲۲	۲۲
شکل ۳-۱ سیستم قدرت تک ماشینه متصل به باس بینهایت مجهز به UPFC با دو مبدل موازی	۲۵
شکل ۳-۲ مدل هفرون فیلیپس سیستم قدرت مجهز به UPFC	۳۷
شکل ۳-۳ ساختار کنترل کننده میراساز مبتنی بر UPFC	۴۵
شکل ۳-۴ فلوچارت به دست آوردن ضرایب مختلف برای شرایط باری متفاوت	۵۰
شکل ۳-۵ فلوچارت به دست آوردن یک ضریب برای تمام شرایط باری	۵۱
شکل ۴-۱ مقادیر تکین مینیمم برای سیگنال‌های وورودی زمانی که Q_e= -0.4. (a) Proposed UPFC و (b) Conventional UPFC	۵۴
شکل ۴-۲ مقادیر تکین مینیمم برای سیگنال‌های وورودی زمانی که Q_e= 0.0. (a) Proposed UPFC و	۵۴

Conventional UPFC (b)

شکل ۴-۳ مقادیر تکین مینیمم برای سیگنال‌های وورودی زمانی که Q_e= 0.4. (a) Proposed UPFC و Conventional UPFC (b) ۵۵

شکل۴-۴ پاسخ پله سیستم بدون اعمال کنترل کننده در حالت بار سبک بر حسب زمان (ثانیه) ۵۷

شکل ۴-۵ نمودار صفر و قطب به دست آمده برای حالت بار سبک بدون اعمال کنترل کننده ۵۸

شکل۴-۶ پاسخ پله سیستم بدون اعمال کنترل کننده در حالت بار نرمال بر حسب زمان (ثانیه) ۵۹

شکل ۴-۷ نمودار صفر و قطب به دست آمده برای حالت بار نرمال بدون اعمال کنترل کننده ۶۰

شکل۴-۸ پاسخ پله سیستم بدون اعمال کنترل کننده در حالت بار سنگین بر حسب زمان (ثانیه) ۶۱

شکل ۴-۹ نمودار صفر و قطب به دست آمده برای حالت بار سنگین بدون اعمال کنترل کننده ۶۳

شکل ۴-۱۰ اعمال کنترل کننده کلاسیک در حالت بار سبک بر حسب زمان (ثانیه) ۶۵

شکل ۴-۱۱ نمودار صفر و قطب سیستم بعد از اعمال کنترل کننده کلاسیک در حالت بار سبک ۶۶

شکل ۴-۱۲ اعمال کنترل کننده کلاسیک در حالت بار نامی بر حسب زمان (ثانیه) ۶۷

شکل ۴-۱۳ نمودار صفر و قطب سیستم بعد از اعمال کنترل کننده کلاسیک در حالت بار نامی ۶۸

شکل ۴-۱۴- اعمال کنترل کننده کلاسیک در حالت بار سنگین بر حسب زمان (ثانیه) ۷۰

شکل ۴-۱۵- نمودار صفر و قطب سیستم بعد از اعمال کنترل کننده کلاسیک در حالت بار سنگین ۷۱

شکل ۴-۱۶ نتایج به‌دست آمده از بعد از اعمال کنترل کننده با استفاده از سه روش کلاسیک، PSO و ICA در حالات بار a) سنگین، b) نرمال و c) سبک ۷۳

شکل ۴-۱۷ پاسخ دینامیکی سیستم در حالت بار سبک برای تغییرات سرعت و زاویه روتور؛ خط توپر (m_E controller) و خط چین (δ_B controller) ۷۵

شکل ۴-۱۸ پاسخ دینامیکی سیستم در حالت بار نرمال برای تغییرات سرعت و زاویه روتور؛ خط توپر (m_E controller) و خط چین (δ_B controller) ۷۵

شکل ۴-۱۹ پاسخ دینامیکی سیستم در حالت بار سنگین برای تغییرات سرعت و زاویه روتور؛ خط توپر (m_E controller) و خط چین (δ_B controller) ۷۵

شکل ۴-۲۰- پاسخ دینامیکی سیستم درحالت بار سبک برای تغییرات سرعت و زاویه روتور؛ خط توپر (Conventional UPFC based $\boldsymbol{\delta_E}$ controller) و خط چین (Proposed UPFC based $\boldsymbol{\delta_B}$ controller) ۷۷

شکل ۴-۲۱- پاسخ دینامیکی سیستم درحالت بار نرمال برای تغییرات سرعت و زاویه روتور؛ خط توپر (Conventional UPFC based $\boldsymbol{\delta_E}$ controller) و خط چین (Proposed UPFC based $\boldsymbol{\delta_B}$ controller) ۷۷

شکل ۴-۲۲- پاسخ دینامیکی سیستم درحالت بار سنگین برای تغییرات سرعت و زاویه روتور؛ خط توپر (Conventional UPFC based $\boldsymbol{\delta_E}$ controller) و خط چین (Proposed UPFC based $\boldsymbol{\delta_B}$ controller) ۷۷

فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول	صفحه
جدول ۴-۱ مقادیر توان اکتیو و راکتیو در حالت‌های مختلف باری	۵۶
جدول ۴-۲- پارامترهای کنترل کننده	۶۳
جدول ۴-۳- پارامترهای به دست آمده از روش کلاسیک برای پارامترهای کنترل کننده در حالت بار سبک	۶۴
جدول ۴-۴- پارامترهای به دست آمده از روش کلاسیک برای پارامترهای کنترل کننده در حالت بار نامی	۶۶
جدول ۴-۵- پارامترهای به دست آمده از روش کلاسیک برای پارامترهای کنترل کننده در حالت بار سنگین	۶۹
جدول ۴-۶ مقادیر بهینه به دست آمده برای کنترل کننده‌های مورد نظر	۷۲
جدول ۴-۷ مقادیر بهینه به دست آمده برای کنترل کننده‌های منتنی بر δ_B و m_E با الگوریتم PSO	۷۴
جدول ۴-۸ مقادیر بهینه به دست آمده برای UPFC پیشنهادی و UPFC متداول توسط الگوریتم PSO	۷۶

اختصارات

AC	Alternating Current
AVR	Automatic voltage regulator
CDCARLA	Combinatorial Discrete and Continuous Action Reinforcement Learning Automata
COA	Chaotic optimization algorithm
DC	Direct Current
DVR	Dynamic Voltage Restorer
EM	Electrical Mode
FACTS	Flexible AC Transmisssion system
FWN	Fuzzy Wavelet Neural Network
GA	Genetic algorithm
ICA	Imperialist Competitive Algorithm
IPFC	Interline power flow controller
LQR	Linear quadratic regulator
OLS	Orthogonal Least Square
PSO	Particle swarm optimization
PSS	Power System Stabilizer
QPSO	Quantum particle swarm optimization
RNN	Recurrent Neural Network
SFL	Shuffled Frog Leaping Algorithm
SMIB	Single-machine infinite bus

SSR	Sub synchronous resonance
STATCOM	Static synchronous compensator
SVC	Static VAR compensator
SVD	Singular Value Decomposition
THD	Total harmonic distortion
UPFC	Unified power flow controller
UPQC	Unified power quality controller

فصل اول

کلیات تحقیق

۱-۱- پیشگفتار

صنعت تولید و توزیع برق از ابتدای پیدایش یک موضوع بسیار جالب و حساسی را در مقابل مهندسین قدرت و کنترل قرار داده است. هر چه از عمر این صنعت می‌گذرد، سیستم‌های قدرت به هم متصل‌تر، پیچیده‌تر و بزرگتر می‌شوند. به طوریکه در صنعت برق امروز بدون انجام مطالعات دقیق علمی، حفظ و نگهداری سیستم عملا غیر ممکن است. هدف اصلی در صنعت برق، تحویل توان لازم مصرف کننده در ولتاژ و فرکانس مشخص است. انجام این مهم فقط با نظارت دقیق اپراتورها و طراحی کنترل-کننده‌های مناسب امکان‌پذیر است. انجام نظارت و طراحی کنترل کننده مناسب نیز بدون انجام مطالعات دینامیکی نتیجه لازم را نمی‌دهد. انجام مطالعات دینامیکی و کنترل سیستم‌های قدرت نه تنها با هدف تحویل برق با کیفیت بالا به مصرف کننده صورت می‌گیرد، بلکه باعث می‌شود که تحت یک سیستم کنترل مناسب بتوان از سرمایه گذاری‌های انجام شده در توان بالاتری استفاده نمود و عمر واحدهای نیروگاهی را بیشتر نمود. یک سیستم قدرت شامل ژنراتورها خطوط انتقال، بارها و ترانسفورماتورهاست. در مرحله طراحی سیستم، پس از محاسبه ظرفیت انتقال، تولید اقتصادی توان و غیره، پایداری سیستم در پی مجموعه ای از اغتشاش‌ها[1] بررسی می‌گردد.

۱-۲- پدیده پایداری

پایداری حالت تعادل بین نیروهای متضاد را نشان می‌دهد. مکاانیزمی که به وسیله آن ماشین‌های سنکرون به هم پیوسته، حالت سنکرون را بین یکدیگر حفظ می‌کنند از طریق نیروهای بازیافت است که، زمانی عمل می‌نماید که نیروهایی وجود داشته

[1] Disturbances

باشد تا یک یا چند ماشین را نسبت به سایر ماشین‌ها شتاب مثبت یا منفی دهد. در حالت ماندگار، تعادل بین گشتاور مکانیکی ورودی و گشتاور الکتریکی خروجی وجود دارد و سرعت، ثابت باقی می‌ماند. اگر سیستم دستخوش تغییر شود این تعادل از بین می‌رود و در نتیجه روتور ماشین‌ها بر اساس قوانین حرکت اجسام دوار، شتاب مثبت یا منفی پیدا می‌کند. اگر به طور موقت ژنراتوری نسبت به دیگری سریع‌تر بچرخد، موقعیت زاویه‌ای روتور آن نسبت به ماشین کندتر، جلوتر قرار می‌گیرد. اختلاف زاویه بین روتور دو ماشین باعث می‌شود تا بخشی از بار ماشین کند به ماشین تند منتقل شود. ایم موضوع سبب می‌شود که اختلاف سرعت و در نتیجه اختلاف زاویه روتورها کاهش یابد. ار آنجایی که رابطه توان – زاویه به شدت غیرخطی است، بالاتر از حد مشخصی، افزایش در اختلاف زاویه، باعث کاهش در توان مبادله شده می‌شود. این موضوع سبب می‌شود که اختلاف زاویه باز هم بیشتر شود و منجر به ناپایداری گردد. در هر وضعیت بخصوص، پایداری سیستم به این بستگی دارد که آیا انحرافات زوایای روتور ماشین‌ها منجر به گشتاورهای بازیافت کافی می‌شود یاخیر. زمانی که یک ماشین سنکرون، حالت سنکرونیزه یا هماهنگ خود را با سایر ماشین‌ها را از دست داد، روتور آن در سرعتی بالاتر یا پایین‌تر از سرعتی که برای تولید ولتاژ در فرکانس سیستم لازم است، می‌چرخد [۱].

پایداری سیستم بستگی به وجود دو مولفه گشتاور سنکرون کننده[۲] و گشتاور میراکننده[۳] برای هر ماشین سنکرون دارد. کمبود گشتاور سنکرون کننده منجر به ناپایداری از طریق رانش غیر نوسانی[۴] زاویه روتور می‌شود. از طرف دیگر، کمبود گشتاور میراکننده هم منجر به ناپایداری نوسانی می‌شود [۲].

به منظور سهولت در امر بررسی پایداری و کسب نگرش مفید بر طبیعت مسائل پایداری، مناسب است که پدیده پایداری زاویه روتور را بر حسب دو طبقه بندی ذیل، تقسیم کرد [۳]:

الف) پایداری اغتشاش کوچک یا سیگنال کوچک[۵]، توانایی سیستم را برای حفظ حالت سنکرونیزه در اثر اغتشاش‌های کوچک نشان می‌دهد. این اغتشاش‌ها به علت تغییرات کوچک بار و تولید، دائما اتفاق می‌افتد. اغتشاش‌ها را می‌توان به اندازه کافی کوچک به حساب آورد تا اجازه خطی کردن معادلات سیستم را برای بررسی پایداری داشت. ناپایداری که ممکن است اتفاق بیفتد می‌تواند به دو صورت باشد: یکی اینکه زاویه روتور به علت کمبود گشتاور سنکرون‌کننده دائما افزایش یابد و دیگری

[2] Synchronizing Torque
[3] Damping Torque
[4] Aperiodic Drift
[5] Small Signal

حالتی که به علت کمبود توان میراکننده، نوسان‌های روتور با دامنه در حال افزایش اتفاق افتد. عکس العمل سیستم در مقابل اغتشاش‌های کوچک، به عوامل چندی از جمله: نقطه کار اولیه، قدرت سیستم انتقال و نوع سیستم تحریک بستگی دارد. برای ژنراتوری که به طور شعاعی به یک سیستم قدرت بزرگ متصل است، ناپایداری در غیاب تنظیم کننده‌های خودکار ولتاژ[6] (یعنی با ولتاژ تحریک ثابت)، به علت کمبود گشتاور سنکرون‌کننده، اتفاق می‌افتد. این مسئله منجر به ناپایداری غیر نوسانی می‌شود. با وجود تنظیم کننده خودکار ولتاژ، زمانی سیستم در مقابل اغتشاش کوچک پایدار است که اطمینان حاصل شود نوسان‌های سیستم میرایی کافی دارند. ناپایداری معمولا خود را به صورت نوسان‌های با دامنه در حال افزایش نشان می‌دهد.

در سیستم‌های قدرت امروزی، پایداری اغتشاش کوچک، عمدتا به علت کمبود میرایی نوسان‌ها اتفاق می‌افتد. پایداری انواع نوسان‌های زیر مورد توجه است:

- **مدهای محلی یا مدهای ماشین** سیستم که مربوط به نوسان‌های واحدهای یک نیروگاه نسبت به بقیه سیستم قدرت است. واژه محلی به این دلیل استفاده می‌شود که نوسان‌ها به یک نیروگاه یا بخشی کوچک از سیستم قدرت محدود شود. به طور معمول، رنج فرکانسی آن ۱ تا ۲ هرتز می‌باشد.
- **مدهای بین ناحیه‌ای** که مربوط به نوسان‌های تعدادی ماشین سنکرون در یک بخش سیستم نسبت به ماشین‌های سنکرون سایر بخش‌هاست. این مدها زمانی اتفاق می‌افتد که دو یا چند بخش که هر بخش از تعدادی ماشین سنکرون کاملا نزدیک به هم متصل تشکیل شده است، به وسیله خطوط ارتباطی ضعیف به هم متصل شده باشند. به طور معمول، رنج فرکانسی آن ۰/۱ تا ۱ هرتز می‌باشد.
- **مدهای کنترلی** که مربوط به کنترل‌کننده‌های نیروگاه و سایر کنترل‌کننده‌هاست. معمولا در صورتی که سیستم‌های تحریک، گاورنرها، کنورترهای HVDC وجبران‌کننده‌های استاتیکی توان راکتیو (SVC)، بد تنظیم شده باشند، ناپایداری اینگونه مدها اتفاق می‌افتد.
- **مدهای پیچشی** که مربوط به اجزای چرخان روی محور توربین – ژنراتور است. ناپایداری این مدها ممکن است به علت تاثیر متقابل اجزای مذکور با سیستم تحریک، گاورنر، کنترل‌کننده‌های HVDC و خطوط انتقالی که با خازن سری جبران شده‌اند، اتفاق افتد.

[6] Automatic Voltage Regulator (AV R)