بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق – قدرت

میراسازی نوسانات فرکانس پایین توسط UPFC با الگوریتم NSPSO

استاد راهنما :

دکتر مصطفی صدیقی‌زاده

نگارش :

سید بهزاد مینویی

زمستان ۱۳۹۰

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه امام خمینی (ره) می باشد.

راهنمایی اساتید گرامی در انجام این تحقیق را ارج می نهم و از ایشان سپاسگذارم.

فهرست مطالب

فصل اول: بررسی اجمالی ادوات FACTS و UPFC به عنوان یکی از این عناصر ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تاریخچه پیدایش ادوات FACTS ۵

۱-۳ شاخصهای ادوات FACTS ۵

۱-۴ انواع ادوات FACTS ۱۰

۱-۴-۱ کنترل کننده های سری ۱۰

۱-۴-۲ کنترل کننده های موازی ۱۰

۱-۴-۳ کنترل کننده های ترکیبی سری- سری ۱۰

۱-۴-۴ کنترل کننده ترکیبی سری-موازی ۱۱

۱-۵ انواع کنترل کننده های موازی ۱۱

۱-۵-۱ جبران کننده سنکرون استاتیکی (STATCOM) ۱۱

۱-۵-۲ مولد سنکرون استاتیکی (SSG) ۱۲

۱-۵-۳ جبران ساز توان راکتیو استاتیکی (SVC) ۱۲

۱-۶ انواع کنترل کننده های سری ۱۳

۱-۶-۱ جبران ساز سنکرون استاتیکی سری (SSSC) ۱۳

۱-۶-۲ خازن سری با کنترل تریستوری (TCSC) ۱۴

۱-۷ کنترل کننده های ترکیبی سری – موازی ۱۴

۱-۷-۱ کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC) ۱۴

۱-۷-۲ تشریح ساختار UPFC ۱۶

فصل دوم: تعریف مسئله ۲۱

۲-۱ پایداری و انواع آن ۲۲

۲-۱-۱ پایداری ماندگار ۲۲

۲-۱-۲ پایداری گذرا ۲۴

۲-۱-۳ پایداری سیگنال کوچک ۲۴

۲-۲ تحقیقات انجام شده ۲۶

۲-۲-۱ بهبود پایداری با PSS ۲۶

۲-۲-۲ بهبود پایداری با UPFC ۲۸

۲-۲-۳ بهبود پایداری با تنظیم همزمان PSS و UPFC ۳۰

۲-۳ اهداف و ساختار پایان نامه ۳۱

فصل سوم: مدل سازی و فرمول بندی مسئله ۳۴

۳-۱ مدل سازی UPFC ۳۵

۳-۲ مدل سازی PSS ۴۱

۳-۳ مدل کردن سیستم مورد مطالعه ۴۴

۳-۳-۱ معادلات دینامیکی سیستم ۴۴
۳-۳-۲ معادلات PSS در سیستم ۴۶
۳-۳-۳ معادلات UPFC در سیستم ۴۸
۳-۳ مدل کردن سیستم در فضای حالت ۵۰
۳-۴ مدل کردن سیستم کنترلی ۵۱
فصل چهارم: معرفی الگوریتم های بهینه سازی ۵۴
۴-۱ الگوریتم ژنتیک (GA) ۵۵
۴-۱-۱ معرفی الگوریتم ۵۵
۴-۱-۲ تشریح الگوریتم ۵۷
۴-۲ الگوریتم بهینه سازی تجمعی ذرات (PSO) ۵۸
۴-۲-۱ معرفی الگوریتم ۵۸
۴-۲-۲ تشریح الگوریتم ۵۹
۴-۳ الگوریتم بهینه سازی(NSPSO) ۶۳
۴-۳-۱ معرفی الگوریتم ۵۲
۴-۳-۲ تشریح الگوریتم ۵۳
۴-۳-۳ مزایای الگوریتم ۵۵
فصل پنجم: شبیه سازی و ارائه نتایج ۶۸
۵-۱ توابع هدف و قیود ۶۹
۵-۱-۱ پارامترهای مسئله بهینه سازی ۶۹
۵-۱-۲ ارائه توابع هدف ۶۹
۵-۱-۳ بررسی قیود مسئله ۷۰
۵-۲ مراحل شبیه سازی ۷۱
۵-۲-۱ بررسی عملکرد سیستم کنترلی در بهبود پایداری سیگنال کوچک ۷۲
۵-۲-۲ مقایسه الگوریتمهای بهینه سازیPSO، GA و NSPSO در بهینه سازی پارامترها ۷۲
۵-۳ نتایج شبیه سازی ۷۳
۵-۳-۱ انتخاب δ_E به عنوان سیگنال کنترلی موثر ۷۴
۵-۳-۲ مقایسه تابع هدف در حوزه زمان و حوزه فرکانس ۷۴
۵-۳-۳ مقایسه روشهای مختلف بهینه سازی ۷۸
۵-۳-۴ مقایسه سیستمهای کنترلی در شرایط وقوع اغتشاش سیگنال کوچک ۸۱
۵-۳-۴-۱ وقوع اغتشاش کوچک در بار نرمال ۸۱
۵-۳-۴-۲ وقوع اغتشاش کوچک در بار سبک ۸۵
۵-۳-۴-۳ وقوع اغتشاش کوچک در بارسنگین ۸۶
۵-۳-۵ ارائه مقادیر توابع هدف در شبیه سازیها ۸۷
۵-۳-۴ مقایسه روشهای مختلف بهینه سازی ۷۴

۵-۴ نتیجه گیری ۸۸
۵-۵ پیشنهادات ۸۸
پیوست ۱ ۹۰
پیوست ۲ ۹۳
مراجع ۹۶

فهرست اشکال

شکل۱-۱: مشخصه ولتاژ بر حسب بار ۷

شکل۱-۲: مشخصه زاویه قدرت ۹

شکل۱-۳: ساختار پایه UPFC بوسیله دو کنورتور پشت سر هم ۱۵

شکل۱-۴: ساختار تک خطی UPFC و چگونگی تزریق ولتاژ در سیستم قدرت توسط آن ۱۶

شکل۱-۵: دیاگرام فازوری عملکرد UPFC در حالتهای مختلف کاری ۱۷

شکل۱-۶: محدوده توان اکتیو و راکتیو در برابر زاویه انتقال δ یک خط انتقال کنترل شده با UPFC ۱۹

شکل۲-۱: مدار معادل سیستم قدرت در حالت ماندگار ۲۳

شکل۲-۲: منحنی P_e بر حسب δ (منحنی توان – زاویه) ۲۳

شکل۳-۱: مدار UPFC ۳۵

شکل۳-۲: مدار مجهز به UPFC ۳۶

شکل۳-۳: سیستم تک ماشینه متصل به شین بی نهایت مجهز به UPFC ۳۸

شکل۳-۴ : نحوه قرار گیری پایدارساز سیستم قدرت در سیستم کنترل ژنراتور ۴۲

شکل۳-۵ : چگونگی ایجاد میرایی منفی توسط AVR و جبران آن توسط PSS ۴۲

شکل۳-۶ : نمودار بلوکی پایدارساز سیستم قدرت با ورودی سرعت ۴۳

شکل۳-۷ : نمودار بلوکی پایدارساز سیستم قدرت با دو ورودی توان الکتریکی و فرکانس ۴۴

شکل۳-۸: مدل خطی ژنراتور سنکرون مرتبه ۳ مجهز به AVR ۴۷

شکل۳-۹ : مدل هفرون فیلیپ سیستم تک ماشینه با حضور UPFC ۴۹

شکل۳-۱۰: بلاک کنترلی پارامترهای UPFC ۵۲

شکل۳-۱۱ : بلاک کنترلی پارامترهای PSS ۵۲

شکل۴-۱: فلوچارت الگوریتم ژنتیک ۵۸

شکل۴-۲: نحوه تعیین مسیر حرکت ذرات در الگوریتم PSO ۶۰

شکل۴-۳: فلوچارت الگوریتم بهینه سازی تجمعی ذرات ۶۲

شکل۴-۴: نحوه انتخاب P_{best} در الگوریتم NSPSO ۶۴

شکل ۵-۱: نوسانات سرعت ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش در بار نرمال و سیستم کنترل "4UPFC&PSS" ۷۵

شکل ۵-۲: نوسانات سرعت ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش در بار سنگین و سیستم کنترل "4UPFC&PSS" ۷۶

شکل ۵-۳: نوسانات سرعت ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش در بار سبک و سیستم کنترل "4UPFC&PSS" ۷۶

شکل ۵-۴: نوسانات سرعت ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش در بار سنگین و سیستم کنترل "4UPFC" ۷۷

شکل ۵-۵: مقایسه مابین بهینه سازی PSOوNSPSO در زمان وقوع اغتشاش در بار نرمال، سیستم کنترل "4UPFC&PSS" ۷۹

شکل ۵-۶: مقایسه مابین بیهنه سازی PSOوNSPSO در زمان اغتشاش در بارسنگین،سیستم کنترل ۷۹

"4UPFC&PSS"
شکل ۵-۷: مقایسه مابین بیهنه سازی PSOوNSPSO در زمان اغتشاش در بارسبک،سیستم کنترل ۸۰
"4UPFC&PSS"
شکل ۵-۸: مقایسه مابین بیهنه سازی PSOوNSPSO در زمان اغتشاش در بارسنگین،سیستم کنترل ۸۰
"4UPFC"
شکل ۵-۹: نوسانات سرعت ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش سیگنال کوچک در بار نرمال ۸۲
شکل ۵-۱۰: نوسانات سرعت ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش سیگنال کوچک در بار نرمال ۸۲
شکل ۵-۱۱: نوسانات توان الکتریکی خروجی ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش سیگنال کوچک در بار نرمال ۸۳
شکل ۵-۱۲: نوسانات توان الکتریکی خروجی ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش سیگنال کوچک در بار نرمال ۸۳
شکل ۵-۱۳: نوسانات ولتاژ ترمینال ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش سیگنال کوچک در بار نرمال ۸۴
شکل ۵-۱۴: نوسانات ولتاژ ترمینال ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش سیگنال کوچک در بار نرمال ۸۴
شکل۵-۱۵: نوسانات سرعت ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش سیگنال کوچک در بار سبک ۸۵
شکل۵-۱۶: نوسانات سرعت ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش سیگنال کوچک در بار سبک ۸۵
شکل۵-۱۷: نوسانات سرعت ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش سیگنال کوچک در بار سنگین ۸۶
شکل۵-۱۸: نوسانات سرعت ژنراتور در زمان وقوع اغتشاش سیگنال کوچک در بار سنگین ۸۶

فهرست جداول

جدول ۵-۱: متغیرهای کنترلی بلاکهای کنترلی ۷۱

جدول ۵-۲: حالت های مختلف بارگذاری سیستم ۷۲

جدول ۵-۳: مقادیر توابع هدف در دو حوزه زمان و فرکانس در حالتهای مختلف سیستم تست ۷۷

جدول ۵-۴: مقادیر توابع هدف در حالتهای مختلف سیستم تست و سیستمهای مختلف کنترلی در شرایط بهینه سازی با NSPSO ۸۷

جدول پیوست ۲: مقایسه بهینه سازی پارامترها و توابع هدف در دو الگوریتم بهینه سازی NSPSO و PSO ۹۴

چکیده:

یکی از مهمترین عناصر FACTS که نقش گسترده ای در بهبود پروفیل ولتاژ ، کنترل توان راکتیو و بهبود پایداری شبکه قدرت دارد ، کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC) می باشد. اما با توجه به این که در یک سیستم قدرت به هنگام بروز حالتهای گذرا ، پایدارسازهای سیستم قدرت (PSS) و ادوات FACTS به طور همزمان عمل می کنند و تاثیرات دینامیکی متقابلی را بر روی عملکرد یکدیگر می گذارند و این تاثیرات متقابل می تواند موجب تقویت و یا تضعیف پایدارسازی آنها گردد. بنابراین لازم است هماهنگی بین این کنترل کننده ها صورت گیرد تا در نهایت منجر به افزایش پایداری سیستم قدرت گردد. طراحی هماهنگ کنترل کننده های پایدارسازهای سیستم قدرت و کنترل کننده یکپارچه توان می تواند راه حل مناسبی برای حل این مسئله باشد.

در این پایان نامه هدف این است، تا با مدل کردن سیستم قدرت که UPFC نیز به آن متصل می باشد ، در شرایطی که از سیستم کنترل همزمان تمامی پارامترهای ورودی UPFC در کنار کنترل همزمان با سیستم کنترلی پایدارساز سیستم قدرت (PSS)، مطالعات پایداری سیگنال کوچک را که ناشی از تغییرات بار و ایجاد عدم تعادل در توان الکتریکی و توان مکانیکی سیستم قدرت می باشد، انجام دهیم. مطالعات شاخصهای پایداری در دو حوزه زمان و فرکانس و با تنظیم همزمان پارامترهای کنترلی سیستم اعم از پارامترهای کنترل کننده های ضرائب مدولاسیون و زاویه آتش کنورتورهای UPFC و پارامترهای کنترلی پایدارساز سیستم قدرت با استفاده از سه روش مختلف بهینه سازی (الگوریتمهای ژنتیک ، PSO و NSPSO) انجام خواهد شد. شایان ذکر است، بهینه سازی پارامترها با استفاده از الگوریتم بهینه سازی NSPSO که براساس توابع چند هدفه انجام می شود، در شرایط تنظیم بهینه پارامترها به صورت همزمان در دو حوزه زمان و فرکانش انجام خواهد شد. در پایان با انجام شبیه سازیهای مختلف، کارائی سیستم کنترلی پیشنهادی در هنگام بروز اغتشاشات کوچک و مقایسه روشهای مختلف بهینه سازی براساس زمان بهینه سازی پازامتزها و مقادیر حاصل برای توابع هدف، مورد ارزیابی قرار می گیرد.

کلید واژه: پایدارساز سیستم قدرت- کنترل کننده یکپارچه توان- پایداری سیستم قدرت- الگوریتمهای PSO, NSPSO و GA

فصل اول

بررسی اجمالی ادوات FACTS و معرفی UPFC به عنوان یکی از این عناصر

۱-۱مقدمه

ادوات FACTS[1] براساس پیشرفتهای زیادی که در زمینه تکنولوژی ادوات نیمه هادی فشارقوی و کنترل دیجیتال و ارسال اطلاعات و تجهیزات الکترونیکی جریان بالا بدست آمده بنا شده اند. ظهور تجهیزات الکترونیک قدرت در چند دهۀ اخیر و استفاده از آنها در خطوط HVDC[2] و سیستمهای SVC[3] باعث شد که رفته رفته تجهیزات الکترونیک قدرت به منظور کاهش مشکلات سیستمهای انتقال فشارقوی و سیستمهای توزیع فشارضعیف مورد استفاده قرار گیرند.

برای اولین بار در سال ۱۹۵۳ آقای کلیر[4] مفهوم مشخصه های بارپذیری در خطوط انتقال را ارائه داد و مشخصه ظرفیت انتقال توان براساس مشاهدات عملی و تجربی در خطوط ۲۳۰ کیلو ولت و با طول ۴۰۰ مایل بدست آورد. این مشخصه در سال ۱۹۷۹ و بعدها بصورت محاسباتی توسعه یافت.

دسترسی آزاد به سیستم انتقال اولین قدم در راه تجدید ساختار در صنعت برق است. به هرحال دو مشخصه اصلی شبکه انتقال باعث لزوم دسترسی آزاد می‌باشند:

۱- تراکم خطوط انتقال

۲- تلفات خطوط انتقال

مشخصه‌های بارپذیری توسط حدهای حرارتی، ولتاژ، پایداری در شبکه محدود می‌شوند. با توجه به محدودیت‌های موجود جهت افزایش ظرفیت خطوط، باید از روش هایی استفاده نمود که بتوان با لحاظ کردن تمام محدودیت‌های فوق توان بیشتری انتقال داد. جایگزینی خطوط انتقال با ولتاژ بالا نیز نیازمند استفاده از حریم و بالتبع آن زمین بیشتر می باشد. احداث شبکه انتقال سخت تر از نصب تجهیزات تولید است. در نتیجه استفاده از ادوات FACTS می‌تواند ظرفیت مفید سیستم‌های انتقال موجود را افزایش داده و به این ترتیب بر قابلیت‌های شبکه بیفزاید. این امر می‌تواند در برقراری تعادل میان رشد تقاضا و ظرفیت شبکه انتقال موجود بسیار تاثیرگذار باشد.

---

[1] Flexible AC Transmission System
[2] High Voltage DC
[3] Static Var Compensator
[4] St. Clair

ظهور مشکلات سیستمهای انتقال فشارقوی و سیستمهای توزیع فشارضعیف به عوامل مختلفی وابسته هستند ، اماّ مهمترین و اصلی ترین عامل را می توان تقاضای رو به افزایش الکتریسیته و کمبود منابع طبیعی دانست که شبکه را به سمت بهره برداری از حداکثر ظرفیت انتقال خطوط سوق می دهد. علاوه بر این تحولاتی مثل تجدید ساختار و خصوصی سازی در صنعت برق موجب شده است سیستم های قدرت به سمت بهره برداری اقتصادی و رقابتی شدن تولید سوق پیدا کنند. در نتیجه بهره برداری از سیستم های قدرت با حاشیه ی پایداری زیاد در حال منسوخ شدن است. بنابراین در سیستم های قدرت امروزی لازم است از تمام امکانات موجود با کمترین هزینه برای افزایش پایداری گذرا و دینامیک استفاده گردد.

یکی از مباحث مهم در پایداری سیستم قدرت، پایداری سیگنال کوچک یا همان پایداری نوسانات فرکانس پایین سیستم است. منظور از نوسانات فرکانس پایین سیستم قدرت، نوسانات الکترومکانیکی است که با فرکانسی حدود ۰/۲ تا ۳ هرتز بروز می کنند. به بیان دیگر پایداری سیگنال کوچک به توانائی سیستم قدرت در حفظ سنکرونیزم هنگامی که تحت اغتشاشهای کوچک قرار می گیرد، اطلاق می شود. این پدیده در شبکه های قدرت متصل به هم به خصوص اگر اتصال آنها از طریق خطوط بلند و پربار صورت گرفته باشد، قابل مشاهده است. در صورت کمبود میرائی سیستم، دامنه ی نوسانات فرکانس پایین می تواند افزایش یافته و به قطع خطوط اتصال توسط سیستم های حفاظتی منجر گردد.

از دهه ۱۹۶۰ پایدارسازهای سیستم قدرت (PSS)[1] برای افزایش میرائی نوسانات فرکانس پایین توان در سیستمهای قدرت مورد استفاده قرار گرفتند. PSS بر روی سیستم تحریک ژنراتور نصب می گردد و عملکرد بسیار موثری در بهبود پایداری سیستم قدرت دارد. با وجود این گاهی اوقات PSS عملکرد مناسبی در مقابل اغتشاشات شدید (به خصوص برای اتصال کوتاه های سه فاز نزدیک به ژنراتور) از خود نشان نمی دهد .

با پیشرفتهای وسیعی که در زمینه تجهیزات مبتنی بر الکترونیک قدرت در دهه های اخیر رخ داده است ، این تجهیزات از جایگاه خاصی در سیستمهای قدرت برخوردار گردیده اند و مفهوم سیستمهای انتقال انعطاف پذیر (FACTS) وارد سیستمهای قدرت گردیده است. یکی از مهمترین عناصر FACTS ، کنترل کننده یکپارچه توان[2](UPFC) می باشد. در واقع این عنصر را می توان کاملترین عنصر FACTS معرفی کرد. زیرا تمامی قابلیتهائی که سایر عناصر FACTS دارند را به طور همزمان دارا می باشد و می تواند جبران سازی توان راکتیو، کنترل پخش بار و کنترل ولتاژ در سیستمهای قدرت را

[1] Power System Stabilizer
[2] Unified Power Flow Controller

انجام دهد. علاوه بر این به سبب دارا بودن پاسخ کنترلی سریع برای میراسازی نوسانات سیستم قدرت و بهبود پایداری سیستم می تواند مورد توجه قرار گیرد.

در سیستم قدرتی که عناصر FACTS و بخصوص UPFC (که موضوع اصلی تحقیق در این پایان نامه می باشد) و پایدارسازهای سیستم قدرت به طور همزمان حضور دارند ، در هنگام بروز اغتشاش بواسطه تاثیر دینامیکی متقابلی که این تجهیزات روی یکدیگر می گذارند، طراحی همزمان و هماهنگ آنها برای جلوگیری از تضعیف اثر آنها روی یکدیگر حائز اهمیت می شود. بدین ترتیب می توانیم به طور همزمان از مزایای حضور UPFC و PSS در سیستم قدرت سود ببریم ، بدون آنکه اثر نامطلوبی بر روی پایداری سیستم قدرت را داشته باشیم[۱].

۱-۲ تاریخچه پیدایش ادوات FACTS

برخی از کنترل کننده های الکترونیک قدرت که اینک در زمرهٔ مفاهیم FACTS درآمده اند ، مربوط به زمانی هستند که مفهوم FACTS توسط هینگورانی به جامعه صنعتی معرفی شد .شاخص ترین آنها جبران کننده استاتیکی توان راکتیو در حالت اتصال موازی (SVC) می باشد ، که برای کنترل ولتاژ اولین بار بوسیلهٔ کمپانی GE در سال ۱۹۷۴ و به وسیلهٔ کمپانی وستینگهاوس در مینه سوتا در سال ۱۹۷۵ به صورت تجاری عرضه شد.

اولین کنترل کننده سری NGH-SSR با حالت میراکننده که عبارت از ابزار کنترل امپدانس به صورت خازن سری کم توان بود ، در سال ۱۹۸۴ توسط زیمنس در کالیفرنیا به نمایش درآمد .این وسیله نشان داد که با یک کنترل کننده فعال هیچ حدی برای جبران سازی توسط خازن سری وجود ندارد. البته قبل از SVC ها ، دو نوع راکتور قابل اشباع استاتیک برای محدود کردن اضافه ولتاژها وجود داشتند و نیز برق گیرهای قدرتمند اکسید فلزی فاقد فاصله هوائی برای محدود کردن اضافه ولتاژهای گذرا بکار می رفتند. تحقیقاتی هم بر روی تپ چنجرهای الکترونیکی و جا به جا کننده های فاز انجام شده بود. با این همه ویژگیهای منحصر بفرد فن آوری FACTS همچون چتر گسترده ای ، موقعیتهای بالقوه ای را برای فن آوری الکترونیک قدرت به وجود آورده ، به طوری که ارزش سیستم های قدرت افزایش یافته و با استفاده از آن انبوهی از نظریات پیشرفته و جدید ارائه و به واقعیت تبدیل شده است[۲] .

۱-۳ شاخصهای ادوات FACTS

بکارگیری ادوات الکترونیک قدرت با استفاده از یکسری روشها در طرف فشارقوی شبکه که از نظر الکتریکی قابل کنترل می باشد، به منظور افزایش کنترل پخش توان شبکه در دو حالت ماندگار و گذرا، سیستمهای انتقال انعطاف پذیر (FACTS) نامیده می شود.

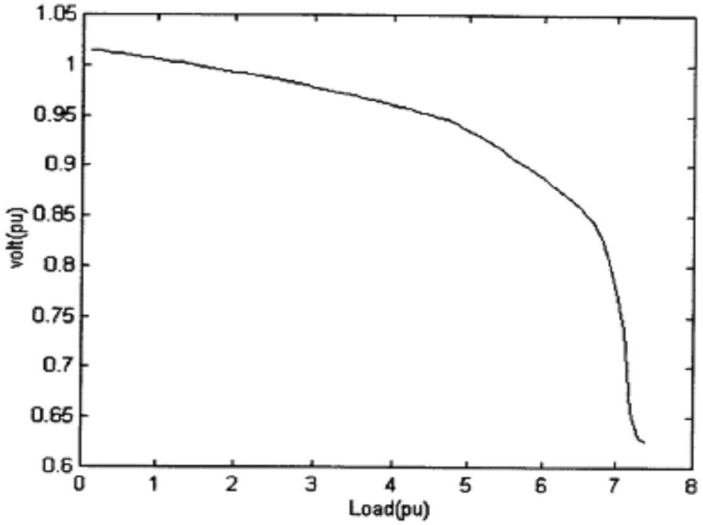
آن چه که برای برنامه ریزان انتقال جالب است ، آن است که فن آوری FACTS، فرصتهای جدیدی را برای کنترل توان و افزایش ظرفیت قابل بهره برداری خطوط موجود و همچنین خطوط جدید و ارتقا یافته فراهم می کند. امکان کنترل جریان در داخل یک خط انتقال با هزینه ای منطقی ، افزایش ظرفیت بهره برداری با استفاده از یکی از ادوات FACTS ، امکان شارش توان در درون چنین خطوطی تحت شرایط عادی و پیش بینی نشده را ممکن می سازد. این فرصت ها از قابلیت کنترل کننده های FACTS در کنترل پارامترهایی ناشی می شود ، که در ارتباط با یکدیگر عملکرد سیستم انتقال را هدایت می کنند. پارامترهایی از قبیل امپدانس سری ، امپدانس موازی ، جریان ، ولتاژ ، زاویهٔ فاز و میراشدن نوسانات در فرکانس های مختلف زیر فرکانس نامی سیستم این امکان را فراهم می سازند.

غلبه بر محدودیتهای سیستم ، ضمن حفظ قابلیت اطمینان سیستم با استفاده از عوامل مکانیکی ، بدون کاستن از ظرفیت قابل بهره برداری انتقال ، مقدور نیست . کنترل کننده های FACTS می توانند با تأمین انعطاف پذیری اضافی ، یک خط انتقال را قادر به منتقل نمودن توان تا نزدیکی حد حرارتی آن بنمایند. کلیدزنی مکانیکی نیازمند آن است که با پاسخ گوئی سریع المانهای الکترونیک قدرت تکمیل شود و ادوات FACTS این قابلیت را بواسطه مدارهای کنورتوری که بر مبنای المانهای الکترونیک قدرت می باشند، فراهم می سازند. بایستی تأکید نمود که FACTS یک فن آوری توانمند سازانه است نه یک جایگزین متناظر برای کلیدهای مکانیکی. به بیان دیگرFACTS مجموعه ای از کنترل کننده هاست ، که هر یک می تواند به تنهائی یا با هماهنگی دیگر کنترل کننده ها یک یا چند پارامتر ذکر شده را در سیستم کنترل نماید[۲].

با توجه به قابلیت عملکرد سریعی که برای ادوات FACTS ذکر گردید و کنترل تمامی پارامترهای سیستم انتقال، از این عناصر می توان برای اهداف مختلفی در سیستم استفاده نمود. اهدافی همچون افزایش پایداری سیستم در زمان بروز خطا در سیستم و بهر برداری بیشتر از ظرفیت خطوط انتقال که اصطلاحا افزایش بارپذیری سیستم نامیده می شود.

با افزایش بار مصرفی بویژه توان راکتیو، ولتاژ شین‌های مصرف‌کننده کاهش می‌یابد و در نقطه‌ای، ماتریس ژاکوبین در معادلات پخش بار منفرد شده و معادلات واگرا می‌شوند. این نقطه را نقطه‌ی شکست یا فروپاشی می‌گویند. در این نقطه بار انتقالی توسط خطوط ماکزیمم است. ولی ممکن است از نظر کیفیت، شرایط مطلوب را نداشته باشد و یا شرایط ایمنی سیستم در نظر گرفته نشده باشد.

مقوله پایداری اعم از گذرا و سیگنال کوچک و افتادگی ولتاژ ، از اصلی‌ترین مشکلات و خطرات تهدید کننده در سیستم انتقال هستند. فروپاشی ولتاژ در اثر افزایش بار مصرفی اتفاق می‌افتد و منجر به خاموشی کامل یا جزئی در شبکه می‌گردد و خسارات بسیار زیادی به شبکه وارد می‌سازد به همین علت است که مطالعات و تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه انجام شده است، در شکل (۱-۱) تغییرات ولتاژ برحسب بار نشان داده شده است. مجموعه نقاطی از این منحنی که در آن نقاط، متغیرهای سیستم در حد مجاز خود قرار گرفته باشند (مثلا ولتاژ ما بین ۰/۹۵ و ۱/۰۵ پریونیت و یا جریان خطوط انتقال در حد مجاز باشد) نقاط قابل قبول بارپذیری گفته می‌شود. از بین این نقاط، نقطه‌ای که بیشترین بار سیستم را بتواند تامین کند، مورد نظر ماست و استفاده از ادوات FACTS در شرایطی که با هدف افزایش بار پذیری سیستم باشد، برای رسیدن به نقطه می باشد.



شکل۱-۱. مشخصه ولتاژ بر حسب بار

اما خود مسئله بارپذیری با محدودیتهائی مواجه است. برخلاف ظرفیت حجمی که معمولاً با عدد ثابت و مشخصی بیان می‌گردد، در خطوط انتقال یا توزیع نیرو برحسب اینکه ظرفیت بر چه مبنایی محاسبه شده باشد، می‌تواند ارقام مختلفی را به خود اختصاص دهد. لذا وقتی بحث پیرامون ظرفیت خطوط به میان می‌آید لازم است مشخص گردد چه عاملی باعث محدودیت ظرفیت خطوط می‌شود و چه بسا ممکن است با ارائه روش‌های اصلاحی نسبت به افزایش ظرفیت اقدام نمود. بنابر این لازم است قبل از ارائه روش‌های اصلاحی جهت افزایش توان انتقالی، کلیاتی در خصوص ظرفیت خطوط انتقال

نیرو و همچنین محدودیت‌های انتقال توان بیشتر مطرح گردد، مشخصه‌های بارپذیری بوسیله حدود زیر محدود می‌شود [۳]:

حد حرارتی، حد افتادگی ولتاژ و حد پایداری حاشیه‌ای مهمترین محدودیتهائی می باشند که برای انتقال توان از سیستم انتقال که بوسیله ادوات FACTS کنترل پذیر گشته است، مواجه می باشد.

اولین عامل محدودکننده ظرفیت خطوط انتقال یا توزیع نیرو، ظرفیت حرارتی هادی‌ها است. برای اینکه مشخصه اولیه هادی‌ها حفظ گردد، لازم است جریان عبوری از هادی‌ها طوری تنظیم شود که هیچ وقت درجه حرارت آنها از حد مجاز خود افزایش نیابد که این جریان به جریان مجاز یا جریان حرارتی هادی‌ها موسوم است. بنابراین جریان مجاز به بالاترین جریانی اطلاق می‌شود که عبور پیوسته آن از هادی سبب نشود تا درجه حرارت هادی‌ها از حد مجاز خود افزایش یابد. لذا با توجه به اینکه درجه حرارت هادی‌ها از مجموع درجه حرارت محیط، توان تابشی خورشید و تلفات الکتریکی حاصل می شود، جریان مجاز هادی‌های یک خط انتقال معین برحسب اینکه در چه منطقه‌ای نصب شده باشد و یا اینکه زمان مطالعه شب یا روز باشد، زمستان باشد یا تابستان، هوا ابری باشد یا آفتابی ارقام مختلفی را بخود اختصاص می‌دهد. بنابراین نوع هادی‌ها بر حسب زمان و مکان بهره‌برداری متفاوت است و معمولا در خطوط کوتاه امکان انتقال توانی در حد ظرفیت حرارتی میسر می‌باشد[۴].

در بسیاری موارد برای اینکه ولتاژ در نقاط مصرف از حد مشخصی کمتر نشود، لازم است توان انتقالی از خطوط انتقال یا توزیع نیرو از حد معینی بیشتر نشود. به عبارت دیگر در این‌گونه موارد محدودیت افت ولتاژ، سبب کاهش ظرفیت مفید خطوط انتقال یا توزیع نیرو می‌شود. البته در چنین شرایطی اگر مشکل افت ولتاژ حل شود، ظرفیت خطوط می‌تواند افزایش یابد. اما تحت هر شرایطی از ظرفیت حرارتی خطوط بیشتر نمی‌شود. به عبارتی اگر مشکل افت ولتاژ حل شود (مثلا برای خطوط متوسط) می‌توان ظرفیت خط را تا ظرفیت حرارتی آن افزایش داد.

ولتاژ عملیاتی تابعی از توان انتقالی است، بنابراین اختلاف ولتاژ می‌بایست در یک رنج تعیین شده باشد (مثلا ٪۵±). ولتاژ عملی باعث تحمیل کردن محدودیت‌های دیگر در انتقال توان می‌شود[۴].

در مواردی که ظرفیت خطوط انتقال برای مقادیری کمتر از حد حرارتی خود طراحی شوند، امکان افزایش ظرفیت خطوط برای مقادیر بالاتر میسر نمی‌باشد.