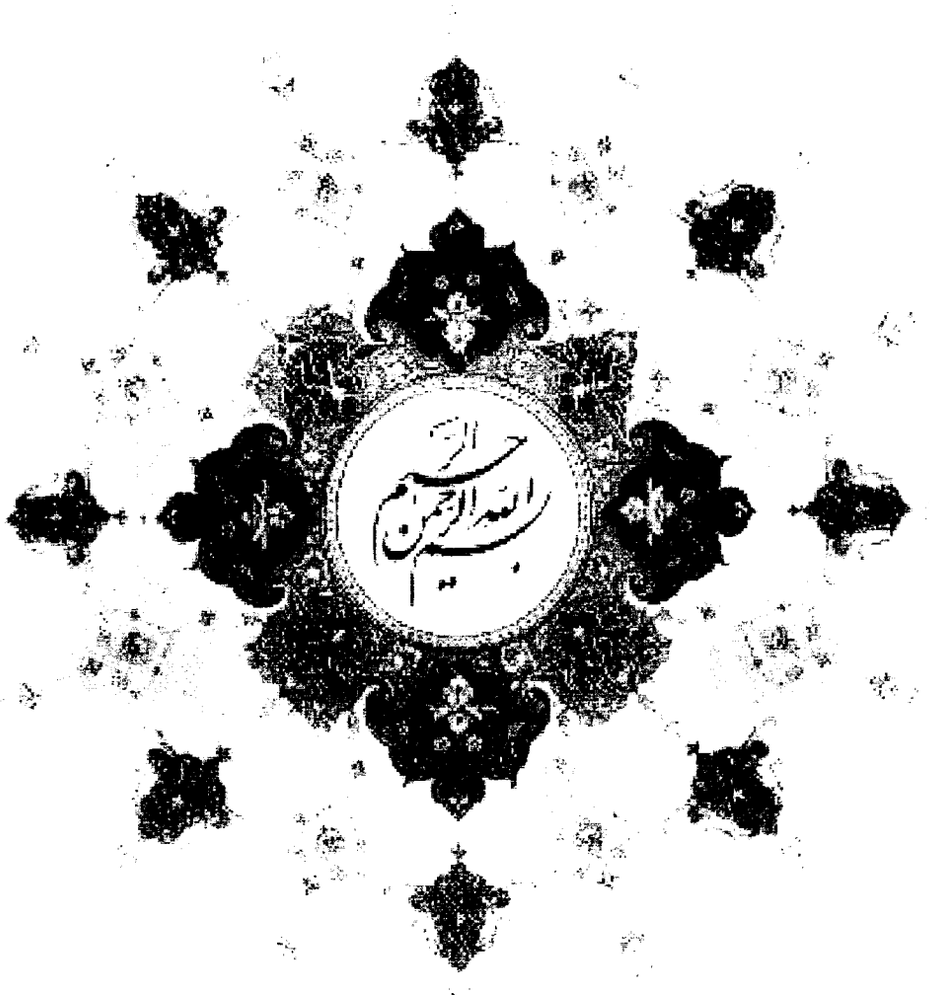


۳۸۸۲۵

۱۳۸۰ /۱۰/ ۲

دانشگاه مازندران

دانشکده فنی و مهندسی

بررسی کنترل کنندهٔ یکپارچهٔ توان «UPFC» درشبکهٔ انتقال ایران

جهت اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد
رشتهٔ مهندسی برق گرایش قدرت

استاد راهنما :
دکتر سید علی نبوی نیاکی
استاد مشاور :
دکتر مهدی معلم

015570

نگارش :
سید ناصر حسینی

خرداد ۱۳۸۰

۳۸۸۲۵

باسمه تعالی

دانشگاه مازندران

معاونت آموزشی

تحصیلات تکمیلی

ارزشیابی پایان نامه در جلسه دفاعیه

دانشکده فنی و مهندسی

نام و نام خانوادگی دانشجو: سید ناصر حسینی **شماره دانشجوئی :** ۷۷۴۹۰۴

رشته تحصیلی : مهندسی برق- قدرت **مقطع:** کارشناسی ارشد

سال تحصیلی: نیمسال دوم ۸۰-۱۳۷۹

عنوان پایان نامه :

"بررسی کنترل کننده توان یکپارچه (UPFC) در شبکه انتقال ایران"

تاریخ دفاع : ۱۳۸۰/۳/۱۶

نمره پایان نامه (به عدد) : ۱۸/۱

نمره پایان نامه (به حروف): هجده و نیم

هیات داوران :

استاد راهنما : دکتر سید علی نبوی نیاکی امضا

استاد مشاور : دکتر مهدی معلم امضا

استاد مدعو : دکتر حسن قوجه بگلو امضا

استاد مدعو : دکترسعید لسان امضا

نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی : دکتر ابوالفضل رنجبر نوعی امضا

تقدیر و تشکر:

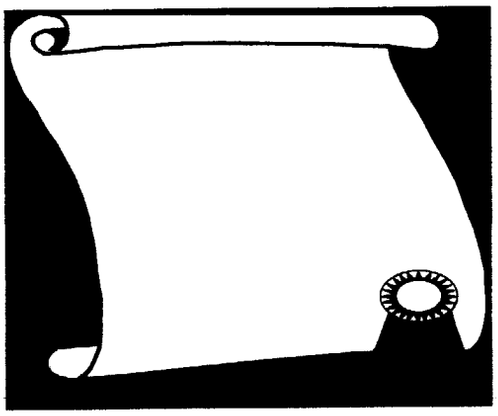
خدای را سپاس، که شعلهٔ شوق علم در قلب من برافروخت و طریق تحصیل دانش به من بنمود و دری از بوستان علم برویم بگشود. منت خدای تعالی را که توفیق و عنایت فرمود تا تهیه و تنظیم این مختصر را به عنوان پایان نامهٔ کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت به اتمام برسانم.

در اینجا بر خود لازم می دانم که از زحمات و راهنمائیهای بسیار ارزندهٔ اساتید محترم ،آقای دکتر سید علی نبوی نیاکی وآقای دکتر مهدی معلم تشکر بنمایم.

از پدر ومادر عزیزم که همیشه در طول سالهای تحصیل و خصوصاً در طول این دوره مشوقم بوده اند و با مهیا نمودن محیطی آرام و صمیمی شرایط تحصیل را فراهم آورده اند، تشکر و قدردانی می نمایم.

همچنین از اساتید محترم دورهٔ کارشناسی ارشد، و نیز از مدیریت و کادر فنی شرکت مهندسین دانشمند، خصوصاً آقای مهندس نصر و آقای مهندس کلانتر، به خاطر در اختیار قراردان نرم افزار SABA ، و راهنماییهای لازمه در مورد آن نرم افزار تقدیر و تشکر می نمایم.

امیدوارم با استعانت از خداوند متعال، شوق آموختن در وجودم همچنان پایدار بماند تا بتوانم زحمات تمامی عزیزان نامبرده را قدر نهم و سپاس الطاف همهٔ آن بزگواران را که خوشه چین خرمن دانش ایشان بوده ام بجای آورم.



تقدیم به:

خانوادهٔ محترم و دلسوزم، خصوصاً

پدر و مادر گرامیم.

و نیز تقدیم به تمامی مهندسین برق ایران.

چکیده :

همچنانکه تقاضای مصرف انرژی الکتریکی، روز به روز افزایش پیدا می کند، بهره برداران سیستم های قدرت، تلاش می نمایند که شبکه های انتقال را توسعه و یا از شبکه های موجود، حداکثر بهره برداری را بنمایند. بنابراین افزایش قابلیت گذردهی توان در خطوط انتقال، جهت توسعهٔ صنعت برق، یک موضوع مهم و اساسی می باشد. غلبه بر محدودیت های انتقال توان (مشخصه های خطوط و مسائل دینامیکی شبکه)، امکان افزایش قابلیت گذردهی توان در خطوط انتقال را تا حد ظرفیت حرارتی به همراه خواهد داشت. مسائل انرژی، محیط زیست، حق عبور از املاک دیگران و هزینه های سنگین، احداث خطوط جدید را با مشکل مواجه نموده است.

همهٔ این عوامل ذکر شده، منجر به پیدایش نظریهٔ (ادوات) **FACTS** گردید و به دنبال آن با پیشرفت وسائل نیمه هادی ها، خصوصاً **GTO** های قدرت بالا، کنترل کنندهٔ یکپارچهٔ توان(**UPFC**) به عنوان کامل ترین و جامع ترین اینگونه ادوات، در جهت کنترل سیستم های قدرت استفاده گردید.

مطالعهٔ شبکهٔ ایران و در نظرگرفتن رشد بار شبکه(۷٪ در سال) نشان می دهد که مراکز عمدهٔ مصرف در ناحیهٔ شمال و مرکز شبکه قرار داشته و تهران با پیش بینی نیاز مصرف حدود ۶۲۰۰ مگاوات از مراکز عمدهٔ بار به حساب می آید و این در حالیست که توان تولیدی منابع عظیم تولید توان، یعنی نیروگاههای آبی رودخانه های کارون، دز و کرخه، بسیار فراتر از نیاز همزمان آن ناحیه می باشد. بنابراین یکی از مهمترین اهداف بهره برداران شبکه، انتقال این مقدار توان نسبتاً ارزان، به مراکز عمدهٔ بار می باشد.

در این تحقیق با در نظر گرفتن اولین **UPFC** بکارگرفته شده در دنیا، مدل سازی حالت پایدار آن در سیستم **odq** انجام گردیده است. با توجه به موارد مشابه جهت بکارگیری آن در شبکهٔ انتقال ایران، و در نظر گرفتن مسیرهای انتقال توان مازاد بر مصرف جنوب شبکه به مراکز بارآن، تأثیر پارامترهای **UPFC** در کنترل توان جاری خط وتنظیم ولتاژ باس، در دو حالت خط یک مداره و دو مداره(خط گدارلندر- گلپایگان) بررسی شده است. نتایج حاصل نشان می دهد، با توجه به دیاگرام های وسیع کنترلی توان**UPFC** ، این وسیله در انتقال و کنترل توان جنوب شبکه به شمال آن نقش بسرایی را می تواند ایفاء نماید.

فهـــرســـت

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱)- مقدمه..... ۱

۱-۲)- اساس کنترل توان..... ۲

۱-۳)- نیاز ادوات **FACTS**..... ۵

۱-۴)- ادوات **FACTS**..... ۹

فصل دوم: معرفی شبکهٔ انتقال ایران

۲-۱)- مقدمه..... ۱۴

۲-۲)- خطوط انتقال..... ۱۵

۲-۲-۱)- مشخصه های خطوط..... ۱۵

۲-۲-۲)- مشخصه های بار پذیری خطوط..... ۱۷

۲-۳)- مراکز تولید توان..... ۲۰

۲-۴)- بارها..... ۲۳

۲-۵)- نکات عمده در مورد شبکهٔ ایران..... ۲۸

فصل سوم: مدلسازی شبکهٔ ۴۰۰کیلوولت ایران

۳-۱)- مقدمه..... ۳۵

۳-۲)- تعاریف و اطلاعات مورد نیاز..... ۳۶

۳-۳)- نکاتی چند دربارهٔ ساده سازی..... ۳۷

۳-۴)- وضعیت شین امیدیه-۱ و امیدیه-۲..... ۳۹

عنوان **صفحه**

۳-۵)- مأموریت **AEP** برای نصب **UPFC**در ایستگاه **Inez** ۵۶

۳-۵-۱)- عملکرد و خصوصیات سیستم ناحیهٔ **Inez** ۵۶

۳-۵-۲)- طرح تقویت سیستم **Inez** ۵۸

۳-۶)- مطالعات شبکهٔ ایران ۶۰

فصل چهارم: معرفی و مدلسازی کنترل کنندهٔ یکپارچهٔ توان

۴-۱)- مقدمه ۶۴

۴-۲)- ساختار **UPFC** ۶۵

۴-۳)- مدهای عملکردی **UPFC** ۶۷

۴-۳-۱)- مدهای اینورتر شنت ۶۸

۴-۳-۲)- مدهای اینورتر سری ۶۹

۴-۳-۳)- مدهای منفرد ۷۰

۴-۴)- مدلسازی **UPFC** ۷۱

۴-۴-۱)- مدل **UPFC** به صورت منابع جریان و ولتاژ سنکرون ۷۱

۴-۴-۲)- معادلات **UPFC** در حوزهٔ **odq** ۷۳

۴-۴-۳)- معادلات خط در حوزهٔ **odq** ۷۴

۴-۵)- اساس تحلیل ۷۵

عنوان **صفحه**

۴-۶)- نتایج حاصل از ایستگاه **Inez**.....۷۸

۴-۶-۱)- تزریق ولتاژ سری.....۷۸

۴-۶-۲)- اثر قدرت اتصال کوتاه.....۸۹

فصل پنجم: عملکرد UPFC روی خط دو مداره (گلپایگان – گدارلندر)

۵-۱)- مقدمه.....۹۳

۵-۲)- تقسیم جریان در سیستم **odq**.....۹۳

۵-۳)- چگونگی تحلیل و تابع هدف.....۹۵

۵-۴)- تأثیر پارامترهای کنترلی **UPFC** در خط دو مداره ۹۷

۵-۵)- جمع بندی و نتیجه گیری.....۱۰۵

ضمائم

مراجع

فصل اول

مقدمه

۱-۱)- مقدمه

همانطورکه می دانیم انتقال انرژی تحت جریان متناوب و با راندمان قابل قبول، مستلزم تأمین حداقل افت ولتاژ خواهد بود. در حالی که برقراری جریان متناوب با قدرتهای راکتیو ناشی از مشخصات القائی و خازنی خط همراه بوده، بخشی از ظرفیت انتقالی خط، حتی درقبال بار اهمی خالص، به قدرت راکتیو حاصل از خط اختصاص می یابد. بهره برداری مناسب واستفاده از حداکثر ظرفیت انتقالی خط، مستلزم کاهش قدرت راکتیو خط، تا حداقل ممکن به ازاء هرمقدار جریان بار خواهد بود. تأمین شرط فوق(کنترل توان راکتیو)، انتقال انرژی را بدون هر افت ناشی از مشخصات القائی و خازنی امکان پذیر می سازد.

یک سیستم قدرت از سه قسمت عمدهٔ تولید، انتقال و توزیع تشکیل شده است. با توجه به بحث های جدید خصوصی سازی در فراهم نمودن خواسته های مصرف کننده، مهمترین هدف بهره برداران سیستم قدرت این است که توان خواسته شدهٔ مصرف کننده را تحت ولتاژ ثابت، بدون هارمونیک و با فرکانس معین تأ مین نمایند. از لحاظ کنترلی و اعمال شرایط خاص به مصرف کننده، روی آن نمی توان محدویت زیادی اعمال نمود چرا که او خریدار است و خواسته هایش بایستی مطابق با قراردادی که با تأمین کننده منعقد نموده است، برآورده

گردد.(با توجه به بحث جدید بازارهای[1] برق که مسأله رقابت شدید بین کمپانی های مختلف را به دنبال خواهد داشت، مصرف کننده مختار خواهد بود که در صورت بر آورده نشدن خواسته هایش، حق انتخاب بین کمپانی های دیگر را داشته باشد).

حالت مطلوب در سیستم تولید و انتقال این است که این سیستم بایستی قابلیت تولید و انتقال توان خواسته شده را (مطلوب مصرف کننده) داشته باشد. معمولا در طراحی اولیه این خواسته در نظر گرفته می شود ولی با گذشت زمان به دلیل تغییراتی از قبیل: رشد مصرف، اتصال شبکه های جدید به شبکهٔ قبلی، احداث نیروگاهها وخطوط جدید، حوادث و رویدادهایی که باعث خاموشی های بلندمدت در قسمتی از شبکه می گرددو.... این تعادل را بر هم زده و محدودیت هائی را در بهره برداری از شبکهٔ قدرت بوجود می آورند.بنابراین بهره برداران سیستم قدرت بایستی روشهای کنترل و بهبود توان را به درستی شنا خته و در سیستم اعمال نمایند.

۱-۲)- اساس کنترل توان

کنترل بلادرنگ[2] سیستم **AC** قدرت پیچیده می باشد .زیرا توان جاری در خط، تابعی از امپدانس خط انتقال، دامنهٔ ولتاژ پایانه های ارسالی[3] و دریافتی[4] و زاویه بین این ولتاژها می باشد.

در اوایل پیدایش سیستم های قدرت، آنها نسبتاً ساده بودند و طوری طراحی می شدند که به تنهائی قادر به انجام کار بودند، یعنی تبادل توان بین شبکه ها کم بود. علاوه بر این، طراحان سیستم های انتقال دریافتند که سیستم های انتقال **AC** جهت انجام شرایط

---

[1] -Market
[2] -Real time
[3] -Sending-End
[4] -Receiving-End

دینامیکی سیستم به حد کافی نمی توانند، کنترل گردند. سیستم های انتقال بوسیلهٔ جبران کنندهٔ های سری و موازی ثابت، یا کنترل شونده بوسیلهٔ کلیدهای مکانیکی و یا ترانس های شیفت دهندهٔ فاز تپ چنجردار، جهت بهینه کردن امپدانس خط، مینیم کردن تغییرات ولتاژ و کنترل توان جاری تحت حالت دائمی[۱] یا شرایط تغییر آهستهٔ بارها، طراحی شده بودند. مسائل دینامیکی سیستم با طراحی دقیقتری انجام می گردید. یعنی سیستم های انتقال با محدوده های پایداری بزرگتری طراحی می شدند تا شرایط بحرانی پیش بینی شده در اثر خطاها، خارج شدن خطوط و ژنراتورها و خطاهای تجهیزات را پوشش دهند. همهٔاین عوامل باعث می شد که سیستم های انتقال در راندمان کمتری کار کنند و خطوط جدید زیادتری جهت تامین توان مورد نیاز احداث گردد.

در سالهای اخیر، درحالیکه تقاضای مصرف الکتریسته به طور مداوم رشد می کرده است، مسائل انرژی و محیط زیست، حق عبور از ملک دیگران، هزینهٔبالای ساخت خطوط جدیدو... احداث خطوط جدید را با مشکل مواجه کرده است. این موقعیت منجر به یک نظریه ای دربارهٔ سیستم های قدرت گردید تا عملکرد آنها را بیشتر انعطاف پذیر نماید و از سیستم های موجود هم استفادهٔ بهتری شود.

در طول دو دههٔ گذشته، که بهتر است آنرا انقلاب بنا میم، پیشرفت چشمگیری در تکنولوژی وسایل کنترل و ادوات نیمه هادی ها بوجود آمده است. این تکنولوژی ها به سمتی حرکت کرد که ساختارهای انتقال **HVDC**[۲] و سیستم های قدرت به هم پیوسته را بوجود آورد و باعث گردید که **SVC**[۳]ها را جهت کنترل توان **AC** به طور مؤثر به کار گیرند. **SVC**ها فقط

---

[۱] -Steady-State
[۲] -High Voltage Direct Current
[۳] -Static Var Compansator

یکی از سه پارامتر مهم گفته شده (دامنهٔ ولتاژ، امپدانس و زاویهٔ فاز) را کنترل می نما ید و آن دامنهٔ ولتاژ ترمینالهای محل نصب **SVC** در خط انتقال است. مطالعات تئوریکی نشان داد، برای اینکه قابلیت استفادهٔ سیستم های قدرت **AC** به هم پیوسته بالا رود و انعطاف پذیر گردد، لازم است که کنترل بلادرنگ امپدانس خط و زاویه فاز نیز انجام گیرد.

درسال۱۹۸۸، **Hingorani**[۱] ، نظریه **FACTS**[۲] رابرای این کار پیشنهاد نمود.[۱۰]

این نظریه استفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت با توان بالا، مراکز کنترل پیشرفته و ارتباطات مخابراتی و ...درجهت افزایش ظرفیت انتقال توان، تا حد ظرفیت حرارتی را در بر می گیرد. ساختار **FACTS** و دیگر موضوعات مشابه، توسعه ادواتی که اصطلاحاً ادوات **FACTS** نامیده می شوند را برای کنترل امپدانس خط، زاویه فاز، کنترل ولتاژ، بهبود پایداری دینامیکی و گذرا و جلوگیری از اضافه ولتاژها، شروع کرده است و آنرا بهبود می بخشد.

بد نیست ذکر گردد که مؤسسه **IEEE**[۳] ،مفهوم **FACTS** را به صورت زیر بیان می نماید:[۴]

"به کارگیری کنترلرهای براساس الکترونیک قدرت و دیگر کنترلرهای استاتیکی درسیستم های انتقال جریان متناوب، جهت بهبود کنترل پذیری و افزایش قابلیت انتقال قدرت ."

مؤسسات تحقیقاتی **FACTS** وتولیدکننده ها و دیگر مؤ سسات وابسته به آن، در سرتاسر جهان جهت دستیابی به دو هدف زیر برنامه های منظمی را طرح ریزی نموده اند:

۱- افزایش قابلیت انتقال توان شبکه های انتقال.

۲- مهیا نمودن کنترل توان جاری روی خطوط انتقال، فراتر از قابلیت طراحی اولیه آنها.

---

[۱] -N.G.Hingorani
[۲] -Flexible AC Transmission Systems
[۳] -Institute of Electrical and Electronic Engineers
[۴] -"alternating current transmission systems incorporating power electronic-based and other static controllers to enhance conrollabity and increase power transfr capability."

۱-۳)- نیاز ادوات FACTS :

واضح است که محدودیت های انتقال توان، همواره می تواند بوسیله احداث خطوط و نیروگاهای جدید بر طرف گردد. هدف اصلی واساسی **FACTS** ، دستیابی به هدف فوق بدون چنین تغییراتی در سیستمهای قدرت می باشد.

توان جاری یک سیستم انتقال همواره بوسیله چندین یا یکی از عوامل ذیل محدود می گردد:

۱- پایداری [۱]

۲- توان در حلقه[۲]

۳- محدودیت ولتاژ

۴- محدودیت های حرارتی در خطوط یا تجهیزات.

درباره پایداری باید گفت که در حالت ایده آل، ژنراتور می تواندماکزیمم توان انتقالی خود را درزاویه $\delta = 90^{O}$ انتقال دهدکه عملاً به خاطر ملاحظات پایداری با ضریب اطمینان ۳۰٪ ازژنراتور بهره برداری می شود. یعنی ماکزیمم توان خروجی از ژنراتور نباید از ۷۰٪ ظرفیت ماکزیمم توان انتقالی خط افزایش یابد. زاویه رتور متناظر با این محدودیت با استفاده از رابطه توان حدوداً $\delta = 45^{O}$بدست می آید.

عبورتوان در مسیرهای ناخواسته، به عنوان مشکل توان در حلقه شناخته می شود.عبور این توان در مسیرهای ناخواسته موجب افزایش بار غیر مجاز و عدم بهره برداری بهینه از سیستم خواهد شد. برای بررسی این مسأله سیستم شکل (۱-۱)را در نظر بگیرید.[۱]

---

[۱] -Stability
[۲] -Loop Flows(Loop flow problem)