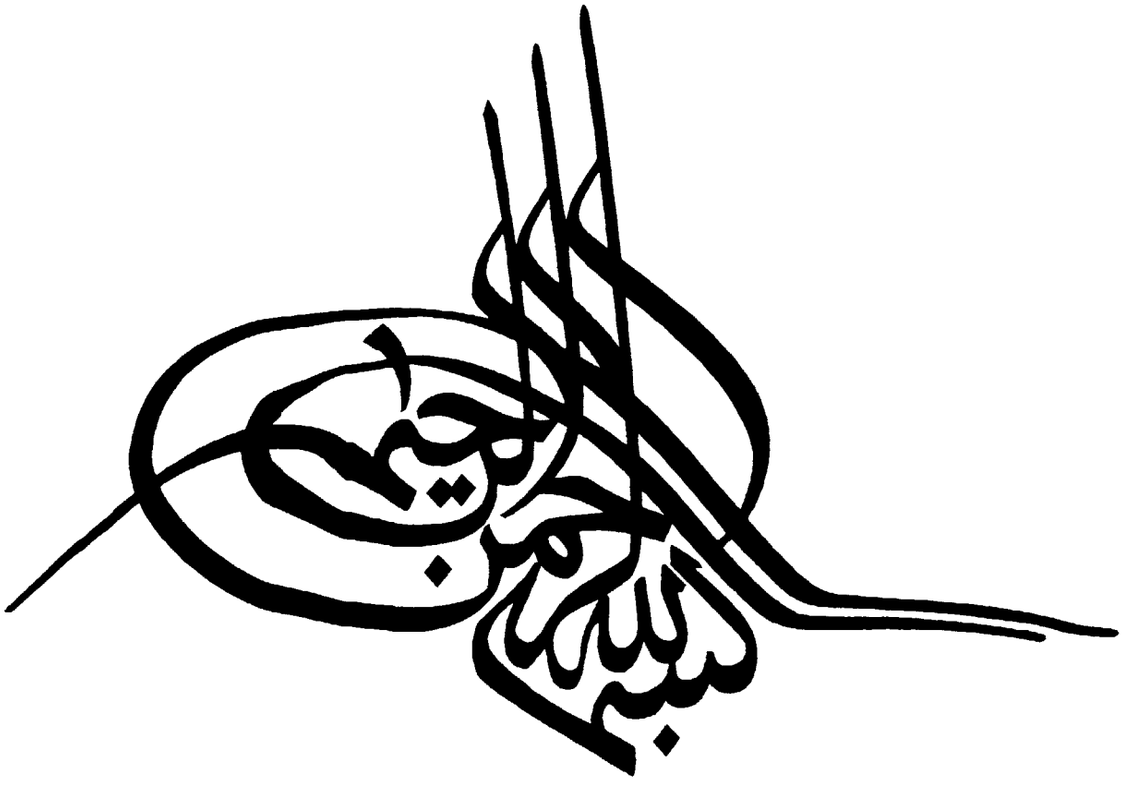


٤٨٨٤٥

دانشگاه مازندران
دانشکده فنی و مهندسی

موضوع:

شناسایی تاثیر پارامترهای مختلف «UPFC» بر حذف نوسانات پیچشی شبکهٔ قدرت

جهت اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد
رشتهٔ مهندسی برق گرایش قدرت

۱۳۸۲ /۳/ ۳۰

[illegible]

استاد راهنما:
دکتر سید علی نبوی نیاکی

استاد مشاور:
دکتر عبدالرضا شیخ الاسلامی

نگارش:
مهدی قاضی زاده احسائی

بهمن ماه ۱۳۸۱

٤٨٨٤٧

باسمه تعالی

دانشگاه مازندران

معاونت آموزشی

تحصیلات تکمیلی

ارزشیابی پایان نامه در جلسه دفاعیه

دانشکده فنی ومهندسی

نام و نام خانوادگی دانشجو: **مهدی قاضی زاده احسائی** شماره دانشجوئی: ۷۹۵۱۳۶۱۰۰۷

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

سال تحصیلی: **نیمسال اول ۸۲-۱۳۸۱**

عنوان پایان نامه :

" شناسائی تاثیر پارامترهای مختلف **UPFC** بر حذف نوسانات شبکه قدرت "

تاریخ دفاع : ۱۳۸۱/۱۱/۵

نمره پایان نامه (به عدد) : ۱۸/۵

نمره پایان نامه (به حروف): هیجده ونیم

هیات داوران :

استاد راهنما : دکتر سید علی نبوی نیاکی امضا

استاد مشاور : دکتر عبدالرضا شیخ الاسلامی امضا

استاد مدعو : دکتر مصطفی پرنیانی امضا

استاد مدعو : دکتر سعید لسان امضا

نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی : دکتر غلامرضا اردشیر امضا

تقدیر و تشکر

حال که با استعانت ازدرگاه ایزد متعال پایانامه اینجانب با موفقیت به پایان رسیده است لازم میدانم از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر نبوی بخاطر راهنماییهای صمیمانه تقدیر و تشکر نمایم. همچنین ازاستاد ارجمند جناب آقای دکتر شیخ الاسلامی کمال تشکر را دارم.

مهدی قاضی زاده احسائی

تقدیم به:

پیشگاه ولی عصر
(عج)

اطلاعات مدرسه عالی ایران
شعبه مدرسه

چکیده:

مدل های ریاضی کنترل کننده عبور توان یکپارچه (UPFC)[1] در دو دستگاه متعامد ایستا و گردان با سرعت سنکرون و مشخصه های حالت ماندگار و دینامیکی آن ارائه و UPFC برای میرا کردن نوسانات پیچشی زیر سنکرون معرفی شده و مدل سیگنال کوچک آن برای مطالعه انتخاب شده است.

میرائی مودهای پیچشی مختلف با نصب UPFC برای دو سیستم قدرت (سیستم ۱ و سیستم ۲) مورد مطالعه قرار گرفته ، برای دستیابی به این هدف، اجزای دو سیستم ۱ و ۲ شامل ژنراتور ، سیستم های انتقال و UPFC با جزئیات مدل شده است.

در نهایت از مفهوم کنترل پذیری مود استفاده شده است. در این مفهوم کنترل پذیری مودهای پیچشی توسط پارامترهای مختلف UPFC بررسی شده و پارامتری که بیشترین تاثیر را روی مودها دارد می تواند به عنوان ورودی کنترلی انتخاب شود.

کلمات کلیدی: کنترل کننده عبور توان یکپارچه (UPFC) ، ادوات FACTS، مبدل منبع ولتاژ ، پایداری سیگنال کوچک

1- Unified Power Flow Controller

فهرست و عناوین

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

فصل اول:معرفی کنترل کننده عبور توان یکپارچه (UPFC)

۱-۱ مقدمه..... ۳
۱-۲ اصول کار..... ۴
۱-۳ قابلیتهای کنترل در انتقال معمولی..... ۶
۱-۴ عملکرد دینامیکی..... ۹
۱-٤-۱ کنترل توان عبوری..... ۹
۱-٤-۲ عملکرد تحت نوسانات سیستم قدرت..... ۱۰
۱-۵ انواع نوسانات سیستم قدرت..... ۱۳
۱-٦ اهداف این پایان نامه..... ۱۴

فصل دوم:تحلیل ریاضی ادوات FACTS بر پایه مبدل منبع ولتاژ

۲-۱ مقدمه..... ۱۶
۲-۲ بردارهای فضایی و کمیتهای توان..... ۱۶
۲-۳ مبدل منبع ولتاژ متصل شده بصورت موازی..... ۱۸
۲-۳-۱ مدل ریاضی سادهVSC متصل شده بصورت موازی..... ۱۸
۲-۳-۲ مدلهای ریاضی VSC موازی با در نظر گرفتن مدار d.c..... ۲۰
۲-۴ مبدل منبع ولتاژ سری..... ۲۳
۲-۴-۱ مدل ریاضی ساده شده VSC سری..... ۲۳
۲-۴-۲ مدلهای ریاضی VSC سری با در نظر گرفتن مدار d.c..... ۲۵
۲-۵ مدلهای ریاضی UPFC..... ۲۷
۲-۶ مشخصه کاری حالت ماندگار..... ۳۰
۲-۶-۱ مشخصه های حالت ماندگار مبدل موازی..... ۳۱
۲-۶-۱-۱ جبرانساز وات –وار استاتیکی ۳۲
۲-۶-۱-۲ StatCom..... ۳۳
۲-۶-۲ مشخصه های حالت ماندگار مبدل سری..... ۳۴
۲-۶-۲-۱ جبرانگر استاتیکی سنکرون سری با یک منبع ذخیره d.c ۳۵

۲-۶-۲-۲ جبرانگر استاتیکی سنکرون سری (SSSC) ۳۶
۲-۶-۳ مشخصه های حالت ماندگار UPFC ۳۸
۲-۶-۳-۱ عملکرد UPFC با ولتاژ d.c ثابت ۳۸
۲-۶-۳-۲ عملکردUPFC با ولتاژ d.c متغیر ۴۰
۲-۷ دینامیکهای سیگنال کوچک با نصب UPFC ۴۱

فصل سوم: پایداری سیگنال کوچک، نوسانهای زیر سنکرون

۳-۱ مقدمه ۴۵
۳-۱-۱ پایداری اغتشاش کوچک یا سیگنال کوچک ۴۵
۳-۱-۲ پایداری گذرا ۴۶
۳-۲ پایداری سیگنال – کوچک ۴۷
۳-۳ مفاهیم اساسی پایداری سیستمهای دینامیکی ۴۷
۳-۳-۱ نمایش فضای حالت ۴۷
۳-۳-۲ مفهوم حالت ۴۸
۳-۳-۳ نقاط تعادل (یا منفرد) ۴۹
۳-۴ پایداری سیستم دینامیکی ۵۰
۳-۴-۱ پایداری محلی ۵۰
۳-۴-۲ پایداری محدود ۵۱
۳-۴-۳ پایداری جامع ۵۱
۳-۵ خطی سازی ۵۱
۳-۶ تحلیل پایداری ۵۴
۳-۶-۱ روش اول لیاپانوف ۵۴
۳-۷ خواص ویژه ماتریس حالت ۵۵
۳-۷-۱ مقادیر ویژه ۵۵
۳-۷-۲ بردارهای ویژه ۵۵
۳-۷-۳ ماتریسهای مدال ۵۶
۳-۸ حرکت آزاد سیستم دینامیکی ۵۶
۳-۹ شکل مد و عامل مشارکت ۵۷
۳-۱۰ کنترل پذیری و رویت پذیری ۵۹
۳-۱۱ پایداری سیگنال کوچک سیستم چند ماشینه ۶۰
۳-۱۲ مشخصه های مسائل پایداری سیگنال کوچک ۶۲

۳-۱۲-۱ مسائل محلی ۶۲
۳-۱۲-۲ مسائل جامع ۶۳
۳-۱۳ نوسانهای زیر سنکرون ۶۴
۳-۱۴ مشخصه های پیچشی توربین – ژنراتور ۶۴
۳-۱۴-۱ مدل سیستم محور ۶۴
۳-۱۴-۲ معادلات سیستم محور ۶۶
۳-۱۵ فاکتورهای جبران سازی ۶۷
۳-۱۶ اثرات رزونانس با خازن های سری ۶۸
۳-۱۷ روشهای تحلیلی ۷۱
۳-۱۸ مدل دینامیکی سیگنال کوچک UPFC ۷۲

فصل چهارم:بررسی تاثیر پارامترهای UPFC بر حذف نوسانات SSR شبکه قدرت

۴-۱ مقدمه ۷۵
۴-۲ اصول حذف SSR توسط UPFC ۷۵
۴-۳ مطالعه حالت ماندگار ۷۶
۴-۴ سیستمهای مورد مطالعه ۷۸
۴-۴-۱ سیستم۱ ..... ۷۸
۴-۴-۲ سیستم۲ ..... ۷۹
۴-۵ مدل سیستم ۷۹
۴-۵-۱ سیستم الکتریکی ژنراتور ۸۰
۴-۵-۲ سیستم مکانیکی توربین –ژنراتور ۸۰
۴-۵-۳ سیستمهای انتقال ۸۰
۴-۵-۴ UPFC ۸۰
۴-۶ تاثیر المانهای UPFC روی SSR ۸۱
۴-۷ تاثیر محل نصب UPFC روی مودهای SSR ۸۴
۴-۸ تاثیر پارامترهای UPFC روی SSR ۸۸

فصل پنجم:خلاصه و نتیجه گیری

خلاصه و نتیجه گیری ۹۶
پیشنهادات ۹۹

ضمیمه ۱:

مدل سازی ماشین سنکرون..... ۱۰۱

ضمیمه ۲:

مشخصات سیستمهای مورد مطالعه..... ۱۰۶

ضمیمه ۳:

مشخصه های ژنراتور سیستم های مورد مطالعه..... ۱۰۸

فهرست منابع..... ۱۱۰

مقدمه

پایداری نوسانی قدرت به میراکنندگی نوسانات الکترومکانیکی رخ داده در سیستم قدرت بستگی دارد. این فرکانسهای نوسانی در اثر اتصالات داخلی یک سیستم قدرت بوجود می آیند. این نوسانات ممکن است یکدفعه شروع شوند و برای مدت کوتاهی ادامه یابند و سپس ناپدید شوند یا به علت پارگی[1] سیستم شروع به افزایش کنند.

این نوسانات توانایی انتقال قدرت را در سیستم محدود می کنند و ایمنی سیستم را تهدید و راندمان سیستم را کاهش می دهند. بنابراین این مشکل باعث نگرانی و جذب علاقه خیلی از پژوهشگران شده است. از سال ۱۹۶۰ تحقیقات روی نواحی خاصی بتدریج برای مهار این مشکل انجام گرفته است. معمولاً این کار به دو بخش آنالیز، و بهسازی پایداری نوسانی قدرت تقسیم می شود.

برای افزایش پایداری نوسانی سیستم قدرت، نصب کنترل تحریک کمکی، پایدار ساز سیستم قدرت (PSS) روشی اقتصادی، مطمئن و ساده است. کارخانه های برق قدرت مهم در خیلی از کشورها مجهز به PSS هستند. کنترل و تحلیل پایداری نوسانی یک موضوع مهم برای تحقیقات و کاربرد در سیستم های قدرت است.

با ورود سیستمهای انعطاف پذیر AC (FACTS[2]) عامل میراکنندگی ادوات FACTS، به صورت پایدار ساز، در جلوگیری از نوسانات سیستم قدرت، علاقه پژوهشگران و صاحبان صنعت را به خود جذب کرده است، گرچه کار اصلی یک کنترل کننده FACTS فقط وظیفه میرا کنندگی نیست.کنترل کننده عبور توان یکپارچه (UPFC) نیز می تواند به عنوان میرا کننده نوسانات سیستم استفاده شود.

کنترل کنندهٔ عبور توان یکپارچه (UPFC) از ترانسفورماتورهای تحریک و تزریق و دو مبدل منبع ولتاژ با یک خازن dc تشکیل شده است. UPFC قابلیتهای بی‌نظیری برای کنترل پارامترهای بهره‌برداری سیستمهای انتقال در حالت ماندگار را دارا بوده و می‌تواند بعنوان ابزار کنترلی برای بهبود مشخصه‌های حالت گذرا و افزایش میرایی نوسانات مختلف سیستم قدرت مورد استفاده قرار گیرد و می‌تواند هر دو توان اکتیو و راکتیو عبوری از خط انتقال را کنترل نماید.

در این تحقیق اثر UPFC بصورت حلقه باز بر نوسانات پیچشی سیستم قدرت مورد مطالعه قرار گرفته است و مناسب‌ترین سیگنال ورودی به UPFC برای حذف نوسانات زیر سنکرون شناسایی شده است.

---

1 -Separation
2-Flexible AC Transmission System

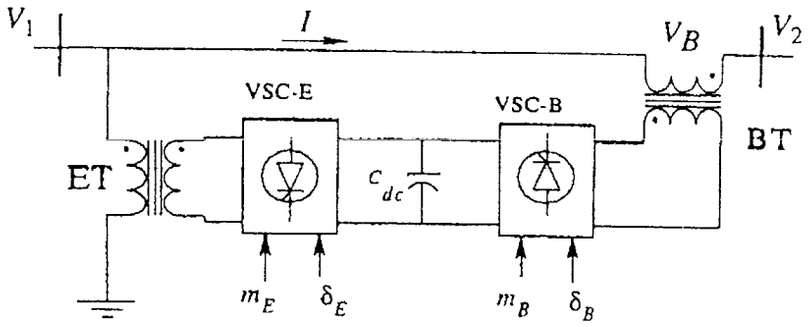
فصل اول:

معرفی کنترل کننده عبور توان یکپارچه (UPFC)

۱-۱ مقدمه

پیشرفت ادامه دار و دسترسی به کلیدهای نیمه هادی برای کاربردهای قدرت بالا نشان می دهد که تجهیزات الکترنیک قدرت می تواند به صورت وسیعی در سیستمهای توزیع و انتقال توان الکتریکی استفاده شود. دلیل اصلی استفاده از الکترونیک قدرت در سیستمهای قدرت الکتریکی، افزایش کنترل پذیری و در نتیجه عملکردکار آمدتر مسیرهای توزیع یا انتقال موجود یعنی نزدیکتر به محدوده حرارتی آنها است. بین تجهیزات الکترونیک قدرت استفاده شده و پیشنهاد شده در عمل، کنترل کننده عبور توان یکپارچه(UPFC[1]) از لحاظ فنی جالب توجه تر ین آنها است [۱۳]. شکل ۱-۱ دیاگرام کلی UPFCرا نشان می دهد . UPFC از ترانسفورمر تحریک (ET)، یک ترانسفورمر تزریق (BT)، دو مبدل منبع ولتاژ (VSC_S) و یک خازن اتصال DC تشکیل شده است.

بر اساس استراتژی کنترل آن، یک UPFC می تواند نقش یک جبرانساز موازی، یک جبرانساز سری، و یک شیفت دهنده فاز را بازی کند. یک UPFC می تواند برای انجام کارهای بالا تحت شرایط ماندگار، دینامیکهای سیگنال کوچک، دینامیکهای سیگنال بزرگ سیستم قدرت استفاده شود.



شکل (۱-۱): دیاگرام شماتیک UPFC

در شکل ۱-۱، VSC-B می تواند اندازه و زاویه فاز ولتاژ تزریقی V_B را به ترتیب توسط اندیس مدولاسیون اندازه (m_B) و زاویه فاز (δ_B) کنترل کند. UPFC یک سیستم کنترل چهار ورودی و چهار خروجی را تشکیل می دهد که می تواند استراتژی های کنترل گوناگون را برای انجام کارهای مورد نیاز، اتخاذ کند.

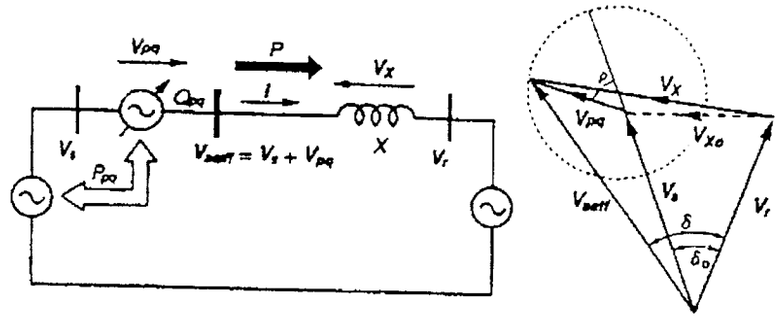
UPFC می تواند برای کنترل عبور توان، کنترل عبور حلقه، تقسیم بار بین دو مسیر موازی، بهبود پایداری گذرا، حذف نوسانات سیستم و تثبیت ولتاژ (توان راکتیو) استفاده شود.

۱-۲ اصول کار:

از لحاظ مفهوم کلی، UPFC یک منبع ولتاژ سنکرون (SVS[1]) با فرکانس اصلی (سیستم قدرت) است. طبق شکل ۱-۲ UPFC فازور ولتاژ V_{pq} را با دامنه $(0 \le V_{pq} \le V_{pq\max})V_{pq}$ و زاویه $(0 \le \rho \le 2\pi)\rho$ کنترل کرده و بصورت سری در خط انتقال قرار می دهد. در این شکل یک سیستم مقدماتی دو ماشینه نشان داده شده است [۷].

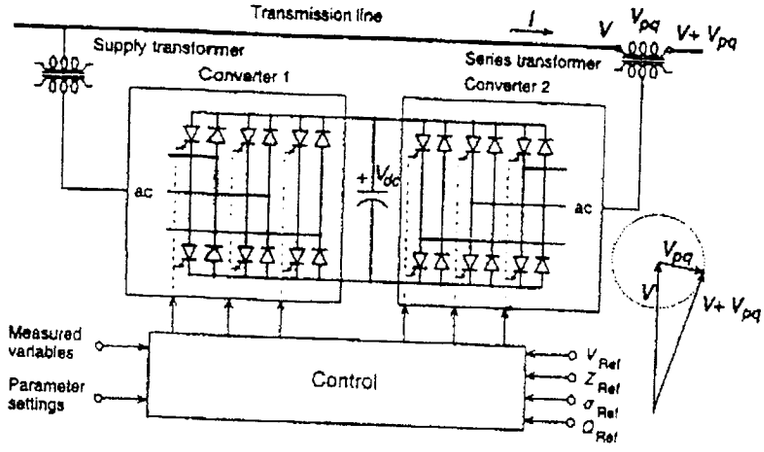
شرایط کاری UPFC عموماً شامل تنظیم ولتاژ و زاویه، و SVS به مبادله هر دو توان اکتیو و راکتیو با سیستم انتقال می پردازد. قبلاً SVS فقط قادر به تولید و مبادله توان راکتیو بود و توان اکتیو می بایست توسط یک منبع مناسب تولید یا جذب می شد. UPFC با یکی از شین ها (یعنی شین ارسالی) مطابق ۱-۲ توان اکتیو مبادله می کند.

UPFC از دو مبدل منبع ولتاژ مطابق شکل ۱-۳ تشکیل شده است [۷]. این مبدلها دو طرفه بنامهای کنورتر ۱ و کنورتر ۲ مطابق شکل، توسط خازن dc به یکدیگر متصل شده اند. ترکیب این کنورترها یک کنورتر قدرت ac به ac ایده آل است که توان اکتیو بطور آزادانه ما بین ترمینالهای ac دو کنورتر در هر یکی از دو جهت عبور می کند و هر کنورتر میتواند مستقلاً توان راکتیو مورد نیاز ترمینالهای ac خروجی را تولید (و یا جذب) نماید.



شکل (۱-۲): نمایش UPFC در یک سیستم قدرت دو ماشینه

1-Unified Power Flow Controller
1-Synchronous Voltage Sourse



شکل۱-۳: UPFC با مبدلهای منبع ولتاژ

وظیفه اصلی کنورتر ۲ در UPFC تزریق ولتاژ کنترل شده V_{pq} با دامنه V_{pq} و زاویه فاز ρ بطور سری و از طریق ترانسفورماتور به خط انتقال می باشد. این عمل تزریق ولتاژ حتماً باید مانند یک منبع ولتاژ سنکرون ac باشد.

جریان عبوری از خط انتقال باعث مبادله توان اکتیو و راکتیو مابین منبع ولتاژ و سیستم ac می گردد. توان اکتیو مبادله شده با ترمینال ac (یعنی ترمینال ترانسفوماتور تزریق سری) توسط کنورتر تولید می شود. توان حقیقی مبادله شده با ترمینال ac تبدیل به قدرت dc شده و در اتصال dc بصورت توان حقیقی مثبت یا منفی مصرفی نمایان می شود.

کنورتر ۱ توان اکتیو مورد نیاز کنورتر ۲ را از طریق اتصال dc مشترک تولید و یا جذب کرده و نتیجه این مبادله توان اکتیو تزریق سری می باشد. لینک dc توان مصرفی کنورتر ۲ را توسط اتصال کنورتر ۱ از طریق ترانسفورماتور موازی به شین خط انتقال تامین می کند. همچنین کنورتر ۱ علاوه بر توان اکتیو مورد نیاز کنورتر ۲ میتواند توان راکتیو کنترل شده تولید و یا جذب نموده و به موجب آن جبران راکتیو موازی مستقل و مطلوب برای خط انتقال بوجود می آید. توان اکتیو انتقالی در یک مسیر مستقیم بسته از طریق کنورتور ۱ و ۲، بصورت تزریق ولتاژ سری به خط بر می گردد در صورتی که توان راکتیو مبادله شده توسط کنورتر ۲ در محل تولید و یا جذب می شود. بنابراین کنورتر ۱ میتواند ضریب قدرت را واحد یا توان راکتیو مبادله شده با خط را مستقل از توان راکتیو مبادله شده با کنورتر ۲ کنترل نماید. بدیهی است که توان راکتیو نمی تواند از اتصال UPFC,dc عبور نماید.