دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی برق

گروه قدرت

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته برق- قدرت

عنوان

کنترل کننده یکپارچه توان مبتنی بر اینورتر چندسطحی

استاد راهنما

دکتر مهرداد طرفدارحق

استاد مشاور

دکتر سید حسین حسینی

پژوهشگر

حسن منافی

اردیبهشت ماه ۱۳۸۸

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
شماره مدارک

۱۳۸۸/۴/۱۰

۱۱۴۲۴۳

نام خانوادگی دانشجو: منافی نام: حسن
عنوان پایان نامه: کنترل کننده یکپارچه توان مبتنی بر اینورتر چندسطحی سری
استاد راهنما: دکتر مهرداد طرفدار حق استاد مشاور: دکتر سید حسین حسینی
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: برق گرایش: قدرت دانشگاه: تبریز دانشکده: مهندسی برق تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۸۸/۲/۸ تعداد صفحه: ۱۰۰
کلید واژه ها: کنترل کننده یکپارچه توان- مبدل چندسطحی- حذف هارمونیک ها- کمترین THD- کنترل توان اکتیو و راکتیو

چکیده:

در این پایان نامه ساختاری جدید از UPFC[1] با استفاده از مبدل چندسطحی سری[2] با استفاده از یک منبع DC(که در این ساختار خازن است) که برای کنترل دامنه ولتاژ خروجی مبدل چندسطحی سری از تغییر ولتاژ لینک DC استفاده شده است. بااستفاده از این روش توان UPFC افزایش می یابد و مقدار THD[3] ولتاژ خروجی مبدل در کمترین مقدار مشخص شده به ازای زوایای کلیدزنی ثابت، قرار می‌گیرد.

نتایج حاصل از شبیه سازی های مبدل چند سطحی سری با استفاده از یک منبع DC نشانگر این موضوع است که مبدل چند سطحی سری با استفاده از یک منبع DC به خوبی همانند مبدل های چند سطحی با استفاده از چندین منبع DC کار می‌کند و توانایی های هر دو نوع اینورتر کاملا مشابه هم می باشد. در ساختار اینورتر چند سطحی سری با استفاده از یک منبع DC تنها عیب مربوط به اینورتر های چند سطحی سری که عبارت است از عدم قابلیت اتصال پشت به پشت بر طرف می شود و می توان از این نوع اینورتر ها با توجه به مزایای زیادشان(ازقبیل:افزایش توان، مقدار کم THD، کاهش توان کلید ها، کاهش نرخ تغییرات dv/dt و ...) در سیستم های قدرت استفاده کرد.

استفاده از روش کنترل ولتاژ لینک DC نیز به جای تغییر زوایای کلید زنی مشکلات مربوط به تغییرات مدولاسیون کلید زنی(تغییرات شدید مقدار THDو نا مطلوب بودن نسبی شکل موج خروجی اینورتر) را بهبود می بخشد.

همچنین نتایج حاصل از شبیه سازی های کنترل کننده یکپارچه توان مبتنی بر اینورتر ۷ سطحه سری با استفاده از

[1] Unified Power Flow Controller
[2] Cascade Multilevel Inverter
[3] Total harmonic distortion

یک منبع DC، ضمن نشان دادن کارایی مناسب این نوع اینورتر در ساختار UPFC، به خوبی نمایانگر صحت موارد بحث شده در مورد اینورتر چند سطحی سری با استفاده از یک منبع DC می باشد.

سپاسگذاری

بدینوسیله بر خود لازم می دانم از زحمات ارزشمند، حمایت ها و تشویق های استاد عزیزم جناب آقای دکتر مهرداد طرفدار حق و همچنین راهنمایی های ارزنده استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر سید حسین حسینی کمال تقدیر و تشکر را داشته باشم. همچنین از راهنمایی های تمامی دوستانم بخصوص آقای داور میرعباسی سپاسگذارم. و در نهایت از پدر و مادر عزیزم به خاطر حمایت های بی دریغشان در تمامی مراحل زندگی ابراز تشکر و قدردانی می نمایم.

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

و

تقدیم به

همسر عزیزم

فهرست مطالب

فصل ۱- مقدمه ۸

۱-۱- مقدمه ۹

فصل ۲- بررسی منابع ۱۳

۲-۱- کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC) ۱۴

۲-۱-۱- اصول اساسی عملکرد UPFC ۱۴

۲-۱-۲- قابلیت های کنترل انتقال متداول ۱۶

۲-۱-۳- کنترل مستقل سیلان توان حقیقی و راکتیو ۲۱

۲-۲- کنترل کننده یکپارچه توان با استفاده از مبدل های چند سطحی: ۲۵

۲-۳- اینورتر های چند سطحی ۲۸

۲-۳-۱- مقدمه ۲۸

۲-۳-۲-ساختارهای مبدل های چندسطحی ۳۲

۲-۳-۲-۱- مبدل دیود-کلمپ ۳۲

۲-۳-۲-۲- مبدل چندسطحی خازن شناور ۳۷

۲-۳-۲-۳- مبدل چند سطحی کسکاد ۴۰

۲-۳-۲-۴-ساختارهای دیگر برای مبدل‌های چندسطحی ۴۳

۲-۳-۲-۴-۱- مبدل چندسطحی منابع dc کسکاد و مبدل چندسطحی ترانسفورمرهای کسکاد ۴۳

۲-۳-۲-۴-۲-توپولوژی Generalized MLI ۴۴

۲-۳-۲-۴-۳-مبدل چندسطحی هیبرید سطح – ثابت ۴۴

۲-۳-۲-۴-۴-سلولهای چندسطحی هیبرید نامتقارن ۴۵

۲-۳-۲-۴-۵-مبدل چندسطحی کلید زنی نرم ۴۷

فصل ۳- مواد و روش ها ۴۹
۳-۱- اینورتر چندسطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۵۰
۳-۱-۱- مقدمه ۵۰
۳-۱-۲- ساختار اینورتر چندسطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۵۱
۳-۱-۲-۱- چگونگی کنترل ولتاژ خازن ۵۲
۳-۱-۳- زوایای کلیدزنی: ۶۴
۳-۱-۳-۱ مقدمه ۶۴
۳-۱-۴- اینورتر ۷ سطحه با استفاده از یک منبع DC ۶۵
۳-۱-۴-۱- محدودیت زوایای کلیدزنی اینورتر ۷ سطحی سری ۶۶
۳-۱-۵- اینورتر ۱۵ سطحه با استفاده از یک منبع DC ۶۷
۳-۱-۵-۱- محدودیت زوایای کلیدزنی اینورتر ۱۵ سطحی سری ۶۸
۳-۱-۶- اینورتر ۳۱ سطحه سری با استفاده از یک منبع DC ۶۹
۳-۱-۶-۱- محدودیت زوایای کلیدزنی اینورتر ۳۱ سطحی سری ۶۹
۳-۲- کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC) مبتنی بر اینورتر چندسطحی سری ۷۱
۳-۲-۱ مقدمه ۷۱
۳-۲-۲- ساختار کنترلی کنترل کننده یکپارچه سیلان توان مبتنی بر اینورتر چندسطحی سری ۷۳
۳-۲-۳- کنترل کنورتور موازی ۷۴
۳-۲-۴- کنترل کنورتور سری ۷۵
۳-۲-۵- وضعیت های عملکرد اصلی کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC) ۷۶
۳-۲-۵-۱- تزریق مستقیم ولتاژ ۷۶
۳-۲-۵-۲- تنظیم و کنترل ولتاژ شینه ۷۶

۳-۲-۵-۳- جبران سازی امپدانس خط ۷۷

۳-۲-۵-۴- تنظیم زاویه فاز ۷۷

۳-۲-۵-۵- کنترل خودکار سیلان توان ۷۷

فصل ۵- نتایج و بحث ۷۹

۴-۱- مقدمه ۸۰

۴-۲- نتایج شبیه سازی اینورتر چندسطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۸۰

۴-۲-۱- اینورتر ۷ سطحی سری ۸۰

۴-۲-۱-۱- مقایسه تغییر مدولاسیون M و تغییر ولتاژ لینک DC ۸۲

۴-۲-۲- اینورتر ۱۵ سطحی سری ۸۵

۴-۲- نتایج شبیه‌سازی‌ها برای کنترل‌کننده یکپارچه توان مبتنی بر اینورتر ۷سطحی سری ۹۰

۴-۲-۱- کنترل مقدار و فاز ولتاژ طرف مصرف کننده با تزریق ولتاژ V_{pq} ۹۱

۴-۲-۲- کنترل مستقل توان‌های اکتیو و راکتیو ۹۲

۴-۳-۳- کنترل همزمان P و Q ۹۳

۴-۳-۴- تغییرات توان های اکتیو و راکتیو با تغییر زاویه ρ به اندازه ۳۶۰° ۹۵

نتیجه گیری و پیشنهادها ۹۶

فصل ۶- مراجع ۹۹

فهرست شکل ها

شکل(۲-۱): نمایش مفهومی UPFC در یک سیتم قدرت دو ماشینه ۱۱

شکل(۲-۲) اجرای UPFC به وسیله دو کنورتور منبع ولتاژی پشت به پشت ۱۲

شکل(۲-۳) دیاگرام های فازوری نشان دهنده قابلیت های کنترل انتقال متداول توسط UPFC (الف) تنظیم ولتاژ –(ب) جبران‌سازی امپدانس خط –(ج) جابجایی فاز –(د)کنترل همزمان ولتاژ، امپدانس و زاویه ۱۳

شکل(۲-۴)محدوده توان حقیقی P قابل انتقال و تقاضای توان راکتیو Q طرف دریافتی کننده در برابر زاویه انتقال δ یک خط انتقال کنترل شده با UPFC ۱۶

شکل (۲-۵)نمایش دیاگرام فاوری UPFC (الف). و تغییرات توان حقیقی و راکتیو در طرف دریافت کننده و توان حقیقی و راکتیو تامین شده توسط UPFC، با چرخش زاویه ای فازور تزریق شده(ب) ۱۶

شکل (۲-۶)توان قابل انتقال P_o و تقاضای توان راکتیو Q_{o_2} در برابر زاویه انتقال δ یک سیستم دو ماشینه(الف) و مکان هدسی Q_{o_2} در برابر P_o مربوطه(ب) ۱۸

شکل (۲-۷) منطقه کنترل قابل حصول توان حقیقی P و تقاضای توان راکتیو Q طرف دریافت کننده در یک خط انتقال کنترل شده با UPFC در $\delta=0^\circ$ (الف)، $\delta=30^\circ$ (ب)، $\delta=60^\circ$(ج) و $\delta=90^\circ$(د) ۲۰

شکل (۲-۸) کنترل کننده یکپارچه توان مبتنی بر اینورتر چند سطحی دیود کلمپ ۲۱

شکل(۲-۹) کنترل کننده یکپارچه توان مبتنی بر اینورتر چند سطحی خازن شناور ۲۲

شکل (۲-۱۰) کنترل کننده یکپارچه توان مبتنی بر اینورتر چند سطحی سری با لینک DC مجزا ۲۲

شکل (۲-۱۱) کنترل کننده یکپارچه توان مبتنی بر اینورتر چند سطحی سری با ساختار پشت به پشت ۲۳

شکل(۲-۱۱) دیاگرام مداری یک مبدل دیود-کلمپ ۵ سطحی ۳۰

شکل(۲-۱۳) شکل موج‌های نشان دهنده پروفیل شارژ خازن. جریان و ولتاژ همفاز هستند(الف). جریان و ولتاژ ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند(ب) ۳۲

شکل (۲-۱۴) دیاگرام مداری یک مبدل خازن شناور ۵ سطحی سه فاز ۳۳

شکل (۲-۱۵) دیاگرام مداری و شکل موج ولتاژ خروجی یک مبدل بر پایه اینورتر های سری با منابع dc جداگانه الف) ساختار مداری ب) شکل موج ۹ سطحی ولتاژ خروجی ۳۷

شکل (۲-۱۸) ساختار مبدل چندسطحی generalized P_2 برای یک ساق فاز ۴۱

شکل (۲-۱۹) ساختار واحد هایبرید سطح_ثابت با استفاده از مبدل‌های دیود-کلمپ به عنوان بخش مبدل سری برای افزایش سطوح ولتاژ ۴۲

شکل (۲-۲۰) ساختار بخش اینورتر سری هیبرید نامتقارن با سطوح ولتاژ متفاوت ۴۳

شکل(۳-۱) ساختار یک اینورتر ۷ سطحه سری با استفاده از یک منبع DC ۴۷

شکل(۳-۲) شکل موج خروجی اینورتر ۷سطحی(الف). ولتاژهای V_1و V_2 خروجی هر یک از H-Bridgeها در حالت های متفاوت برایتولید ولتاژ یکسان در خروجی اینورتر ($V=V_1+V_2$) (ب) و(ج) ۴۹

شکل(۳-۳) بلوک دیاگرام کنترلی ولتاژ خازن در یک اینورتر ۷ سطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۵۰

شکل(۳-۴) ساختار اینورتر ۱۵سطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۵۰

شکل(۳-۵) ساختار اینورتر ۳۱سطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۵۰

شکل(۳-۶) شکل موج خروجی اینورتر ۱۵ سطحی(الف). ولتاژهای خروجی H-Bridgeها در حالت‌های مختلف برای تولید یکسان شکل موج(الف) ۵۱

شکل(۳-۷) شکل موج خروجی اینورتر ۳۱ سطحی(الف). ولتاژهای خروجی H-Bridgeها در حالت‌های مختلف برای تولید یکسان شکل موج الف (ب)،(ج)،(د) و (ه) ۵۳

شکل(۳-۸) محدوده‌ی زوایای کلیدزنی برای اینورتر ۷سطحی در بازه‌ی مدولاسیون(الف). محدوده‌ی زوایای کلیدزنی با اعمال محدودیت(۳-۵) برای اینورتر ۷سطحی در بازه‌ی مدولاسیون(ب) ۵۸

شکل(۳-۹) محدوده‌ی زوایای کلیدزنی برای اینورتر ۱۵سطحی در بازه‌ی مدولاسیون(الف). محدوده‌ی زوایای کلیدزنی با اعمال محدودیت(۳-۵) برای اینورتر ۱۵سطحی در بازه‌ی مدولاسیون(ب) ۵۹

شکل(۳-۱۰) محدوده‌ی زوایای کلیدزنی برای اینورتر ۳۱سطحی در بازه‌ی مدولاسیون(الف). محدوده‌ی زوایای کلیدزنی با اعمال محدودیت(۳-۵) برای اینورتر ۳۱سطحی در بازه‌ی مدولاسیون(ب) ۶۱

شکل(۳-۱۱) ساختار کنترل کننده یکپارچه توان با استفاده از مبدل ۷ سطحی سری ۶۴

شکل(۳-۱۲) ساختار کنترلی کنترل کننده یکپارچه سیلان توان با استفاده از مبدل ۷ سطحی سری ۶۵

شکل(۳-۱۳) بلوک دیاگرام کنترلی کنورتور موازی ۶۶

شکل(۳-۱۴) بلوک دیاگرام کنترلی کنورتور سری ۶۷

شکل(۴-۱) شکل موج های ولتاژ خروجی(الف) و طیف هارمونیکی فاز A اینورتر ۷ سطحی سری با استفاده از یک منبع DC (ب) ۷۲

شکل(۴-۲) شکل موج های ولتاژ خروجی(الف) و طیف هارمونیکی خط اینورتر ۷ سطحی سری (ب) ۷۲

شکل(۴-۳) شکل موج ولتاژ ها و جریان های سه فاز یک اینورتر ۷ سطحه سری با استفاده از یک منبع DC ۷۳

شکل(۴-۴) تاثیر تغییر ولتاژ V_{dc} به ازای مدولاسیون(M) ثابت بر خروجی اینورتر ۷سطحی سری با استفادا

از یک منبع DC ۷٤

شکل(۴-۵) تاثیر تغییر مدولاسیون(M) به ازای V_{dc} ثابت بر خروجی اینورتر ۷سطحی سری با استفادا از یک منبع DC ۷۵

شکل(۴-۶) شکل موج های ولتاژ خروجی و طیف هارمونیکی فاز A اینورتر ۱۵ سطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۷٦

شکل(۴-۷) شکل موج جریان خط اینورتر ۱۵ سطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۷٦

شکل(۴-۸) شکل موج های ولتاژ خروجی و طیف هارمونیکی خط اینورتر ۱۵ سطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۷۷

شکل(۴-۹) THD ولتاژ V_{ab} خط اینورتر ۱۵ سطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۷۷

شکل(۴-۱۰) شکل موج های ولتاژ خروجی V_{an} و طیف هارمونیکی فاز A اینورتر ۳۱ سطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۷۸

شکل(۴-۱۱) شکل موج های ولتاژ خروجی V_{ab} و طیف هارمونیکی خط اینورتر ۳۱ سطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۷۹

شکل(۴-۱۲) شکل موج جریان خط اینورتر ۳۱ سطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۷۹

شکل(۴-۱۳) THD ولتاژ V_{ab} خط اینورتر ۳۱ سطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۸۰

شکل(۴-۱۳) ساختار کنترل کننده یکپارچه توان با استفاده از مبدل ۷ سطحی سری ۸۱

شکل(۴-۱۴) چگونگی کنترل ولتاژ طرف مصرف کننده (V_r) با تزریق ولتاژ(V_{pq}) ۸۲

شکل(۴-۱۴) THD ولتاژ تزریقی سری قبل و بعد از اتصال UPFC در خط انتقال ۸۳

شکل(۴-۱۵) THD ولتاژ خط انتقال قبل و بعد از اتصال UPFC ۸۳

شکل(۴-۱۶) کنترل مستقل توان اکتیو ۸٤

شکل(۴-۱۷) کنترل مستقل توان راکتیو ۸٤

شکل(۴-۱۸) THD ولتاژ V_{ab} خط اینورتر ۳۱ سطحی سری با استفاده از یک منبع DC ۸۵

شکل(۴-۱۹) کنترل همزمان P و Q ۸٦

فهرست جدول ها

جدول(۲-۱) سطوح ولتاژ مبد ۵ سطحی دیود کلمپ و حالات کلیدزنی آنها ۳۰

جدول(۲-۲) سطوح ولتاژ مبد ۵ سطحی خازن شناور و حالات کلیدزنی آنها ۳۵

جدول(۳-۱) ولتاژهای خروجی اینورتر ۷سطحی ۴۸

جدول(۳-۲) چگونگی کنترل سطح ولتاژ خازن C_1 در اینورتر ۷سطحی ۴۸

جدول(۳-۳) ولتاژهای خروجی اینورتر ۱۵سطحی ۵۲

جدول(۳-۴) چگونگی کنترل سطح ولتاژ خازن‌های C_1 و C_2 در اینورتر ۱۵سطحی ۵۲

جدول(۳-۵) ولتاژهای خروجی اینورتر ۳۱سطحی ۵۴

جدول(۳-۶) چگونگی کنترل سطح ولتاژ خازن‌های C_1 و C_2 و C_3 در اینورتر ۳۱سطحی ۵۴

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- مقدمه

بهره‌برداری مفید و بهینه از سیستم قدرت از عوامل پیشرفت صنعت برق در عرصه تولید و انتقال است. هدف اساسی در سیستم قدرت، تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کنندگان است به طوری که انرژی الکتریکی با کیفیت مطلوب و با کمترین هزینه به دست مصرف کننده برسد. با رشد صنایع و افزایش شمار مصرف کنندگان، شبکه را نیز باید به گونه‌ای توسعه داد تا ضمن اینکه کفایت و امنیت شبکه در تامین بار مصرف کنندگان حفظ شود، به طور همزمان از نظر اقتصادی نیز سیستم در وضعیتی بهینه باشد. روش متداول برای توسعه شبکه در بسیاری از موارد، توسعه شبکه انتقال و احداث نیروگاه های جدید است. این کار علاوه بر اینکه ممکن است از نظر عملی به دلایلی میسر نباشد، از لحاظ اقتصادی نیز ممکن است به صرفه نباشد.

از لحاظ تئوری یک خط انتقال قادر است توان را در حد ظرفیت بارگیری خود انتقال دهد، اما در عمل قبل از رسیدن به حد حرارتی، ممکن است محدودیت های دیگری، امکان استفاده بهینه از تمام ظرفیت انتقال را محدود کند.

برای غلبه بر محدودیت های انتقال انرژی و استفاده بهینه ار ساختار شبکه، راه حل هایی ارائه شده است که از مهمترین آنها می‌توان به تغییر در ساختار شبکه موجود، استفاده از جبران‌سازها جهت کنترل پارامتر های شبکه و تکنولوژی خطوط انتقال فشار قوی DC اشاره نمود.

تغییرات در ساختار شبکه موجود معمولا با مشکلاتی روبرو است، از جمله:

حریم عبور،

مشکلات زیست محیطی،

مسائل مالی و هزینه نصب و ساخت.

در شبکه های موجود نیز استفاده از جبران‌ساز های مختلف معمولا نسبت به HVDC بنا به دلایل زیر ترجیح داده می‌شود:

کنترل توان در مسیر های مورد نظر،

عدم آسیب رسانی زیست محیطی،

مقرون به صرفه تر بودن از لحاظ اقتصادی.

با پیشرفت الکترونیک قدرت و ساخت نیمه هادی های توان بالا، تحولی عظیم در زمینه جبران‌سازهای سیستم قدرت به وجود آمده است که حاصل آن ایجاد تکنولوزی جدید جبران‌سازها تحت عنوان FACTS است که در یک دهه اخیر بحث و تحقیق بسیار زیادی روی آن در تمام مراکز تحقیاتی جهان انجام گرفته است.

از دیگر عواملی که نیاز به ادوات FACTS را در شبکه های انتقال موجود ضروری می‌سازد مسائل اشتراکی تبادل انرژی و توان و بازارهای تجدید ساختار یافته می‌باشند که در آنها مکان تولید و مراکز بار به سرعت تغییر می‌کنند و اضافه کردن مکرر تجهیزات انتقال به دلایل اقتصادی و مسائل زیست محیطی محدود می‌باشد. بنابر این در این زمینه، به تغییر سیستم انتقال بدون احداث خطوط جدید نیاز است که تکنولوزی FACTS به این نیاز پاسخ می‌دهد[۱].

کنترل کننده یکپارچه توان(UPFC) آخرین دستاوردی است که پیشرفت های اخیر صنعت الکترونیک قدرت در سطوح بالای توان و نیز تکنولوژی های کنترلی به سیستم های انتقال انرژی AC عرضه داشته است.

مفهوم کنترل کننده یکپارچه توان(UPFC[1]) در سال ۱۹۹۱ توسط"گایوگی"عرضه شد. UPFC برای کنترل زمان واقعی و جبران سازی دینامکی سیستم انتقال AC، به منظور انعطاف پذیری چند کاربردی مورد نیاز برای حل بسیاری از مسایل رویاروی صنعت انتقال توان، بنا نهاده شده. در چارچوب مفاهیم سنتی انتقال توان، UPFC قادر به کنترل هم زمان یا انتخابی تمام پارامترهای موثر بر سیلان توان در خط انتقال (یعنی: ولتاژ، امپدانس و زاویه فاز) است و این قابلیت منحصر به فرد با قید "یکپارچه"در نام آن معنی یافته است. علاوه بر آن می‌تواند به صورت مستقل، سیلان هر دو توان واقعی و راکتیو را در خط کنترل کند[۲۴].

---

[1] Unified Power Flow Controller

برتر بودن مشخصات عملکردی UPFC به دلیل قابلیت یکتای آن در تزریق یک بردار مولفه ولتاژ AC جبران‌سازی با مقدار و زاویه دلخواه به صورت سری با خط، در هنگام صدور فرمان است، که فقط موکول به اندازه نامی تجهیزات می‌باشد. با کنترل کننده‌های الکترونیکی مناسب، UPFC می‌تواند موجب تغییر سریع و پیوسته بردار ولتاژ سری تزریق شده از لحاظ مقدار و یا زاویه، به صورت مطلوب شود. بنابراین، تنها قادر به ایجاد یک نقطه کار در محدوده گسترده و وضعیت های ممکن P و Q بر روی خط نیست، بلکه دارای این قابلیت است که به سرعت از یک چنین نقطه کار قابل وصولی به هر نقطه کار دیگری گذر کند.

در میان مبدل‌های چندسطحی منبع ولتاژی، مبدل‌های چندسطحی سری منبع ولتاژی ساختار منحصر به فردی دارند که به آنها اجازه می‌دهد بدون استفاده از ترانسفورمرها در ناحیه ولتاژ بالا با کمترین هارمونیک ها به کار برده شوند. مبدل‌های چندسطحی به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند: مبدل‌های دیود-کلمپ، خازن-شناور و مبدل‌های چندسطحی سری(کسکاد)[۲]. از میان مبدل‌های چندسطحی ذکر شده مبدل چندسطحی سری علاوه بر داشتن مزایای فراوان(از قبیل: THD کم، کاهش نرخ dv/dt، کاهش توان کلید ها و...) به دلیل نیاز به منابع DC مجزا برای هر پل، امکان اتصال پشت به پشت نداشته اند که با استفاده از یک ساختار جدید[۳] این مشکل برطرف شده است. نکته دیگر در مورد اینورتر های چندسطحی تغییر مدولاسیون کلیدزنی به منظور تغییر ولتاژ دامنه خروجی اینورتر می‌باشد، که منجر به تغییرات در مقدار THD ولتاژ خروجی و همچنین شکل موج خروجی نامطلوب در برخی موارد می‌شود.

در این پایان نامه به معرفی ساختاری جدید از UPFC با استفاده از مبدل چندسطحی سری با استفاده از یک منبع DC(که در این ساختار خازن است) می‌پردازیم که برای کنترل دامنه ولتاژ خروجی مبدل از تغییر ولتاژ لینک DC استفاده می‌شود با این کار مقدار THD ولتاژ خروجی مبدل در کمترین مقدار مشخص شده به ازای زوایای کلیدزنی ثابت قرار می‌گیرد.

در ادامه بخش های مختلف پایان نامه را به صورت زیر ارائه شده است:

فصل دوم(بررسی منابع): در قسمت اول این فصل کنترل کننده یکپارچه توان به عنوان پیشرفته ترین تکنولوژی FACTS از نظر ساختاری و کارکرد مورد بحث قرار گرفته است.همچنین خلاصه‌ای از مقالات و مطالب موجود در مورد کنترل کننده یکپارچه توان مبتنی بر اینورترهای چند سطحیارائه شده است. در قسمت دوم این فصل خلاصه‌ای از مقالات و مطالب موجود و پیشرفت های اخیر توپولوژیی های مبدل‌های چندسطحی و مزایا و معایب آنها آورده شده اند.

فصل سوم(مبانی و روشها): در این قسمت اینورتر چندسطحی سری(کسکاد) با استفاده از یک منبع DC در سطوح مختلف از نظر ساختار، عملکرد و کنترل ولتاژ خازن‌های این نوع اینورترها ارائه شده و درادامه کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC) با استفاده از یک اینورتر ۷ سطحی سری مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل چهارم: نتاج حاصل از کار پایان نامه و بحث بر روی این نتایج در این فصل ارائه شده است.

فصل پنجم: یک نتیجه گیری کلی از پایان نامه و همچنین جهت دهی برای تحقیقات بیشتر در این فصل ارائه شده است.

فصل ۲

بررسی منابع

(پایه‌های نظری و پیشینه‌ی پژوهش)

۲-۱- کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC)

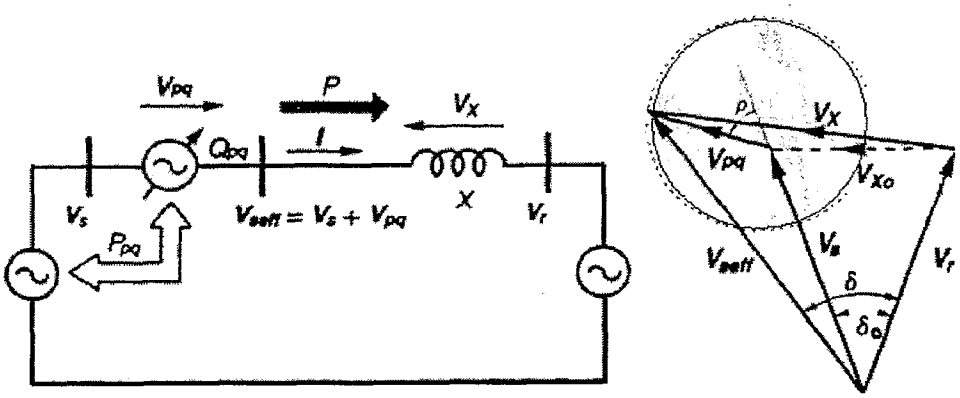
۲-۱-۱- اصول اساسی عملکرد UPFC

ازدیدگاه مفهومی، UPFC یک منبع ولتاژ سنکرون(SVC) تعمیم یافته است که در فرکانس مولفه اصلی (سیستم قدرت)، با فازور ولتاژ V_{pq} – که دارای مقدار قابل کنترل V_{pq} ($0 \le V_{pq} \le V_{pq\ max}$) و زاویه ρ ($0 \le \rho \le 2\pi$) می‌باشد– نمایش داده می‌شود و به صورت سری با خط انتقال قرار می‌گیرد. همان‌گونه که برای سیستم ابتدائی معمولی دو ماشینه در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. در این وضعیت عملیاتی نامحدود، که به روشنی شامل تنظیم ولتاژ و زاویه است، هر دو توان حقیقی و راکتیو را با سیستم انتقال مبادله می‌کند[۲۴] و [۱].

در آرایش UPFC توان حقیقی مبادله شده، همان گونه که در شکل(۲-۱) نشان داده شده، به وسیله یکی از شینه های انتهایی تامین می‌شود. در اجرا های عملی که امروزه انجام می‌شود، UPFC از دو کنورتور منبع ولتاژی، به صورتی که در شکل (۲-۲) نشان داده شده، تشکیل شده است. این کنورتور های پشت به پشت که در شکل کنورتور ۱ و کنورتور ۲ نام گذاری شده اند، از یک رابط مشترک dc که توسط یک خازن ذخیره dc تامین می‌شود استفاده می‌کنند. همان گونه که قبلا اشاره شد، این آرایش به عنوان یک کنورتور قدرت ac به ac عمل می‌کند که در آن توان حقیقی می‌تواند آزادانه در هر جهتی بین ترمینال های ac در کنورتور سیلان یابد. هم چنین هر کنورتور می‌تواند به طور مستقل توان راکتیو را در ترمینال خروجی ac خود تولید (یا جذب) کند[۲۵] و [۲۶].

کنورتور ۲، عملکرد اصلی UPFC را با تزریق ولتاژ V_{pq} که مقدار قابل کنترل V_{pq} و زاویه فاز ρ را داراست، به صورت سری با خط از طریق یک ترانسفورماتور الحاقی میسر می‌سازد. این ولتاژ تزریقی در اصل به عنوان یک منبع ولتاژ ac سنکرون عمل می‌کند. جریان خط انتقال با سیلان از درون این منبع ولتاژ منجر به مبادله توان راکتیو و حقیقی بین آن و سیستم ac می‌شود. توان راکتیو مبادله شده در ترمینال ac (یعنی در ترمینال ترانسفورماتور الحاقی سری)، به صورت داخلی توسط کنورتور

تولید می‌شود. توان حقیقی مبادله شده در ترمینال ac که در رابط dc به صورت درخواست مثبت یا منفی توان حقیقی ظاهر می‌شود، به توان dc تبدیل می‌گردد.



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

کارکرد اصلی کنورتور ۱ تامین یا جذب توان حقیقی درخواست شده توسط کنورتور ۲ در رابط dc مشترک است تا مبادله توان حقیقی ناشی از تزریق ولتاژ سری را پشتیبانی کند. این توان درخواستی کنورتور ۲ از رابط dc، مجددا توسط کنورتور ۱ به ac تبدیل و از طریق یک ترانسفورماتور موازی بسته شده به شینه خط انتقال مرتبط می‌شود. علاوه بر نیاز کنورتور ۲ به توان حقیقی، کنورتور ۱ نیز می‌تواند در صورت ضرورت، توان راکتیو قابل کنترل تولید یا جذب کند، و به این صورت جبران‌سازی موازی توان راکتیو را برای خط به صورت مستقل تامین نماید. توجه به این نکته حائز اهمیت است که چون یک راه بسته مستقیم برای عبور توان حقیقی، ناشی از تزریق ولتاژ سری، از طریق کنورتور ۱و ۲ مجددا به خط وجود دارد، توان راکتیو مبادله شده متناظر با آن به صورت موضعی توسط کنورتور ۲ تامین یا جذب می‌شود، و لذا نبایستی به وسیله خط منتقل شود. به این ترتیب، کنورتور ۱ می‌تواند با ضریب قدرت واحد کار کند یا به صورتی کنترل شود که مستقل از توان راکتیو مبادله شده با کنورتور۲، مبادله توان راکتیو با خط داشته باشد. آشکار است که هیچگونه سیلان توان راکتیو از درون رابط dc در UPFC نمی‌تواند وجود داشته باشد[۲۵] و [۲۶].