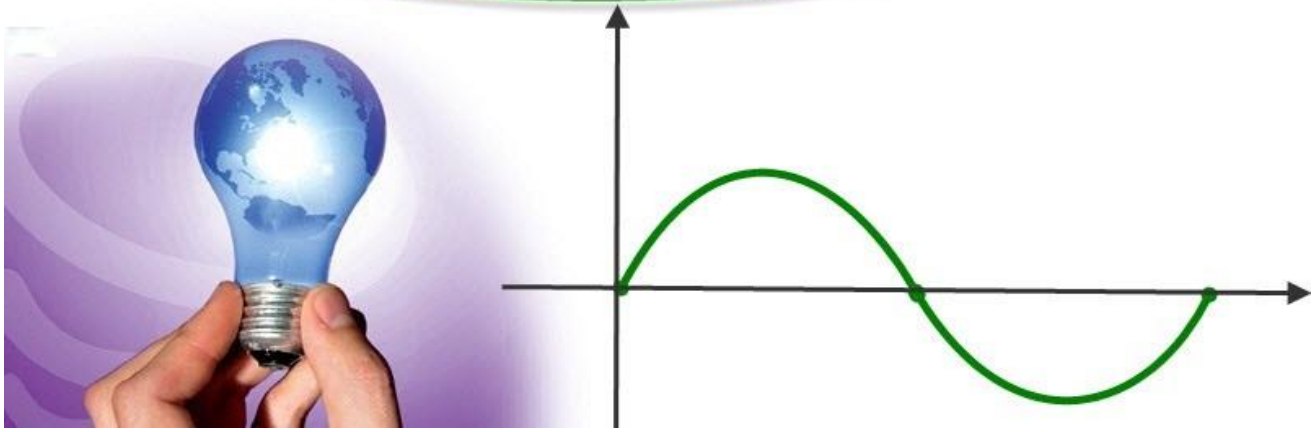
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بسم الله الرحمن الرحیم



برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موضوع پروژه:

معرفی و شبیه سازی انواع ادوات FACTS

WikiPower.ir

برای خرید فایل wordاین پروژه اینجا کلیک کنید.

(شماره پروژه = ۲۸۸)

پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فهرست مطالب

فصل اول:

معرفی ادوات FACTS

فصل دوم:

شبیه سازی انواع ادوات FACTS

۱- شبیه سازی SVC

۲- شبیه سازی STATCOM

۳- شبیه سازی TCSC

۴- شبیه سازی SSSC

۵- شبیه سازی DVR

WikiPower.ir

۶- شبیه سازی D-STATCOM

۷- شبیه سازی UPFC

۸- شبیه سازی UPQC

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل اول :

معرفي ادوات FACTS

۱-٤ : مقدمه

در حال حاضر انواع مختلفی از ادوات FACTS در سیستم‌های قدرت به کار می‌رود که مشهورترین آنها عبارتنداز:

- SVC[۱] : جبرانساز Var استاتیک
- TCSC[۲] : خازن سری کنترل تریستوری
- PST (PAR[۳]): ترانسفورماتور شیفت‌دهنده فاز (تنظیم‌کننده زاویه فاز)
- STATCOM[٤] : جبرانساز استاتیک
- SSSC[٥] : جبرانساز سری سنکرون استاتیک
- UPFC : کنترل‌کننده یکپارچه توان
- IPFC[٦] : کنترل‌کننده توان بین خطوط
- CSC[۱]: جبرانساز استاتیک تغییرپذیر

WikiPower.ir

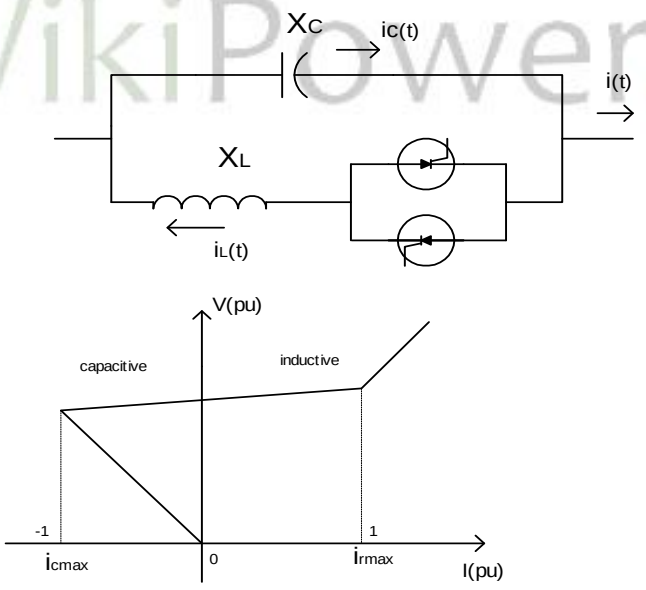
۱. Static Var Compensator
۲. Thyristor Control Series Capacitor
۳. Phase Angle Regulator
٤. Static Compensator
٥. Series Synchronous Static Compensator
٦. Interline Power Flow Controller

در ادامه عملکرد و ساختار این ادوات معرفی شده است.

۴-۲ : معرفي انواع ادوات FACTS

۴-۲-۱ : جبرانساز Var استاتیک (SVC)

SVC یکی از مهمترین عناصر FACTS است که سالهاست به دلیل مزیت فنی و اقتصادی در حل مساله دینامیک ولتاژ مورداستفاده قرار می‌گیرد. دقت، دسترس‌پذیری و پاسخ سریع SVC در مقایسه با جبرانگرهای موازی کلاسیک آنرا به وسیله‌ای بسیار کارآمد در کنترل ولتاژ حالت گذرا و حالت ماندگار تبدیل نموده است. شکل (۴-۱) ساختمان SVC و مشخصه V-I آنرا نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱): ساختمان SVC و مشخصه V-I آن

۱. Convertible Static Compensator

SVC به صورت موازی به شبکه وصل می‌شود و همانطور که از شکل پیداست می‌تواند در دو مود راکتیو سلفی یا خازنی ظاهر شود. در جریان خازنی بزرگتر از Icmax، SVC به یک خازن تبدیل می‌شود و توان راکتیو آن به صورت تابعی از ولتاژ شبکه تغییر می‌کند. شیب نمودار V-I بین Icmax و Irmax- معمولاً ٪۲ تا ٪۵ درنظرگرفته می‌شود.

مهمترین کاربردهای SVC عبارتنداز :

- تثبیت ولتاژ در شبکه‌های ضعیف،
- کاهش تلفات انتقال،
- افزایش ظرفیت انتقال توان،
- افزایش میرایی اغتشاشات کوچک،
- بهبود پایداری ولتاژ،
- حذف نوسانات توان.

رایج‌ترین انواع SVC با توجه به عناصر به‌کاررفته در ساختمان آن‌ها به شرح زیر است:

- راکتور کنترل تریستوری TCR[۱]،
- خازن سوییچ تریستوری TSC[۲]،
- راکتور سوییچ تریستوری TSR[۳]،

۱. Thyristor Controlled Reactor
۲. Thyristor Controlled Capacitor
۳. Thyristor Switched Reactor

- خازن سوییچ مکانیکی MSC[1].

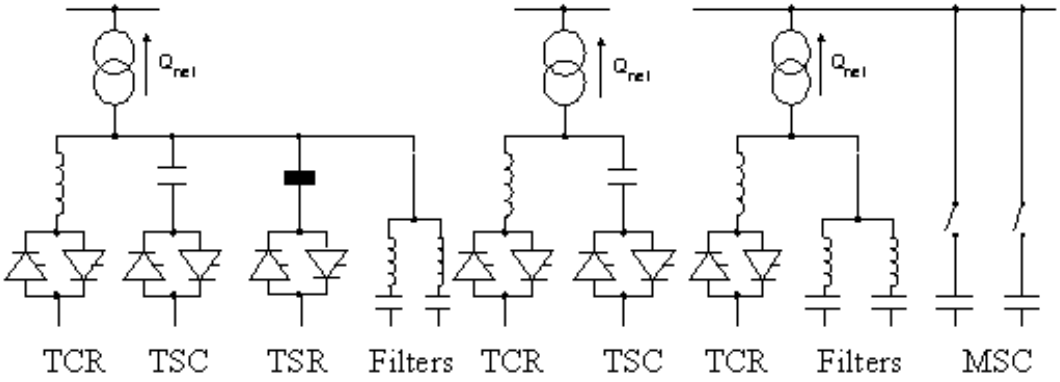
در شکل (۲-٤) موارد فوق و نحوه اتصال آن‌ها به سیستم انتقال نشان داده شده است. با تنظیم زاویه آتش تریستورها، SVC در مود راکتیو سلفی یا خازنی ظاهر می‌شود.

معمولاً حوزه تغییرات ولتاژ سیستم توسط SVC ٪۵± لحاظ می‌شود. اغلب سه محل برای نصب SVC پیشنهاد می‌شود:

- در مجاورت بارهای عمده و بزرگ (نواحی وسیع شهری)،
- نزدیک به بارهای حساس به ولتاژ،
- در مجاورت بارهای صنعتی.

در واقع نصب SVC در سه محل مزبور بیشترین تاثیر را بر بارهای شبکه قدرت دارد. همان‌طور که گفتیم اگر SVC به حد توان راکتیو خود نزدیک شود (مثلاً به Icmax در شکل (۱-٤)) به یک خازن ثابت تبدیل می‌شود و تولید توان راکتیو آن تابعی از ولتاژ شبکه می‌گردد. این پدیده از معایب SVC محسوب می‌شود.

[1]. Mechanically Switched Capacitor



شکل (۲-٤): انواع SVC

۲-۲-٤ : خازن سری کنترل تریستوری(**TCSC**)

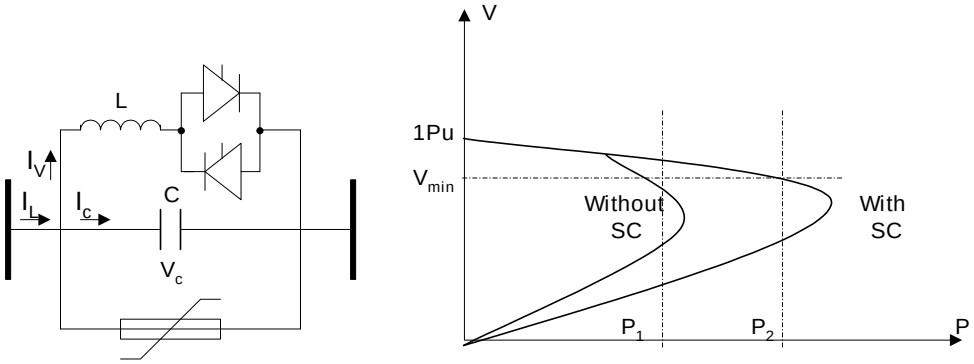
خازن‌های سری کنترل تریستوری همان خازن‌های سری معمولی هستند که با اضافه‌کردن راکتور کنترل‌شونده تریستوری توسعه داده شده‌اند. قراردادن راکتور کنترل‌شونده به صورت موازی با خازن‌های سری، سیستم جبرانسازی سری با تغییرات سریع و پیوسته را بوجود می‌آورد. بکارگیری خازن‌های سری قابل تنظیم موثرترین روش جبرانسازی راکتیو خطوط انتقال بلند است و ابزار سودمندی جهت کنترل توان انتقال یافته از این خطوط محسوب می‌شود. بدلیل اندوکتانس نسبتاً زیاد، در شرایط عادی (بدون جبرانسازی)، افزایش در توان انتقال‌یافته از خطوط انتقال بلند می‌تواند سبب ناپایداری شود. خازن‌های جبرانساز سری عامل موثری در تثبیت خطوط بلند می‌باشند. جبرانسازی خطوط انتقال توسط خازن‌های سری با اهداف زیر صورت می‌گیرد:

- افزایش ظرفیت انتقال و افزایش حد پایداری گذرا،

- کاهش تلفات (تقسیم توان بین خطوط موازی)،
- میراکردن رزونانس زیر سنکرون (SSR)[۱]: امکان رویداد این پدیده، در خطوط بلند جبرانسازی شده با خازن‌های سری، وجود دارد،
- کنترل توان خطوط،
- کاهش افت ولتاژ وابسته به بار،
- میراکردن نوسانات توان[۲] و در نتیجه بهبود پایداری سیستم،
- کاهش زاویه و امپدانس خط انتقال.

شکل (۳-٤) طرحی از TCSC و نمودار (P-V) مربوط به سیستم انتقال مجهز به TCSC را نشان می‌دهد. افزایش فاصله بین زانوی منحنی (P-V) و نقطه کار خط به معنای افزایش ظرفیت انتقال توان از خط است.

WikiPower.ir



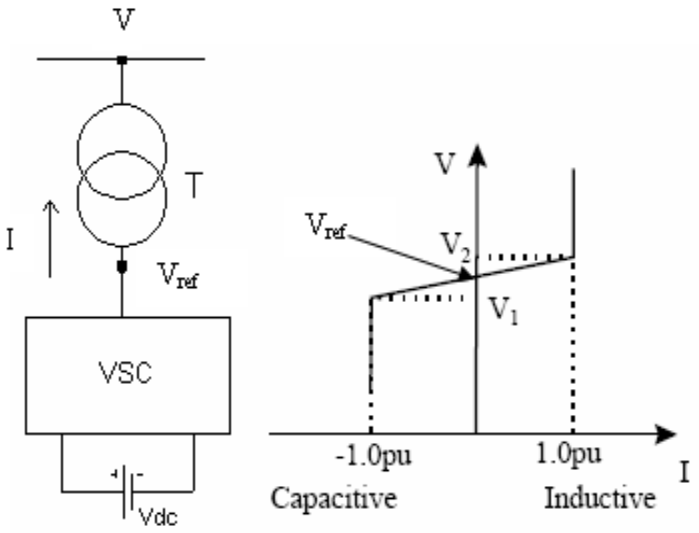
۱. Sub Synchronous Resonance
۲. Power Swing

شکل (۳-٤): TCSC و نمودار P-V

۳-۲-٤ : جبرانساز استاتیک(**STATCOM**)

اساس عملکرد STATCOM مشابه کندانسور سنکرون است. از آنجا که در ساخت این وسیله از ادوات الکترونیک قدرت استفاده می‌شود به آن جبرانساز استاتیک می‌گویند. مبدل-های به کاررفته در این جبرانساز توان راکتیو موردنیاز را بطور محلی (در محل اتصال STATCOM به شبکه) تأمین کرده و خروجی آن بطور پیوسته قابل تنظیم می‌باشد، به همین دلیل در مواردی که ولتاژ شبکه قدرت تغییرات وسیعی داشته باشد (در حالت بروز اغتشاش یا پس از رفع خطا) از این جبرانساز استفاده می‌شود.

شکل (٤-٤) طرحی از STATCOM و مشخصه V-I آنرا نشان می‌دهد. تولید یا جذب توان راکتیو توسط مبدل منبع ولتاژ (VSC) با تنظیم ولتاژ V_{ref} صورت می‌گیرد.



شکل (٤-٤): STATCOM و مشخصه V-I آن

مهمترین کاربردهای STATCOM به شرح زیر است:

- کنترل دینامیکی ولتاژ،
- بهبود پایداری گذرا،
- حذف نوسانات توان در شبکه انتقال،
- کنترل توان حقیقی و راکتیو.

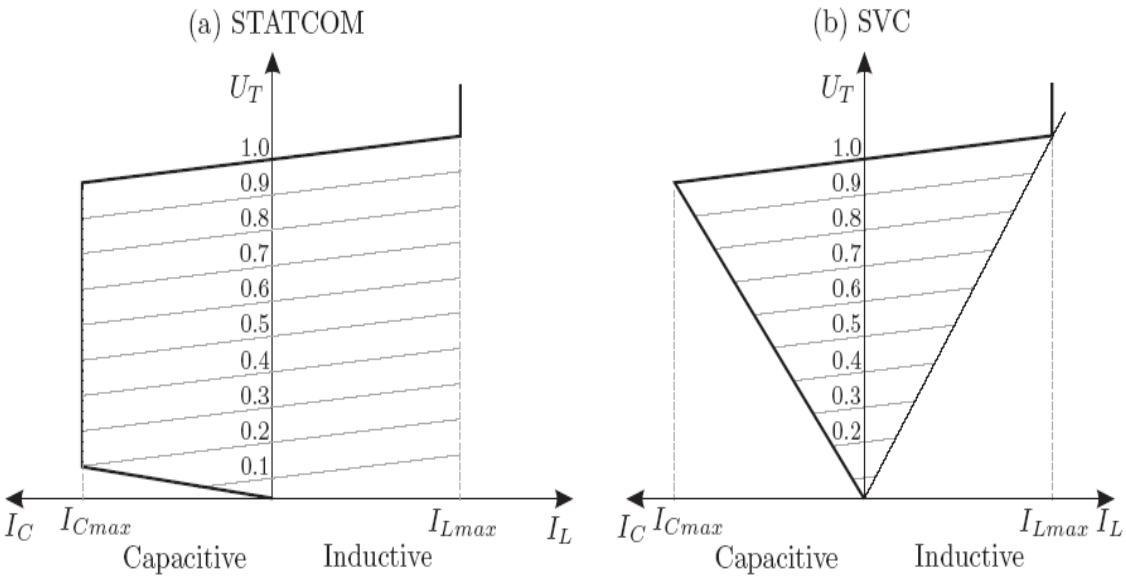
مقایسه **STATCOM** و **SVC**

SVC و STATCOM از لحاظ قابلیت عملکرد جبرانسازی بسیار به هم شبیه هستند، اما اصول عملکرد آنها اساسا متفاوت است. STATCOM به عنوان یک منبع ولتاژ سنکرون

عمل می‌کند، در حالیکه SVC به عنوان ادمیتانس راکتیو کنترل‌شده عمل می‌کند. این تفاوت باعث می‌شود STATCOM از مشخصات عملکرد بهتر و انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به SVC برخوردار باشد. شکل (۵-٤) مشخصه (V-I) STATCOM و SVC را مقایسه می‌کند. همانطور که از شکل پیداست در محدوده عملکرد خطی مشخصه (V-I)، قابلیت عملکرد جبرانسازی SVC و STATCOM مشابه است. با درنظرگرفتن محدوده عملکرد غیرخطی، STATCOM قادر است، جریان خروجی‌اش را در محدوده حداکثر جبرانسازی خازنی و سلفی به صورت مستقل از ولتاژ AC سیستم کنترل کند. در حالیکه حداکثر جریان جبرانسازی قابل حصول با استفاده از SVC به صورت خطی با ولتاژ سیستم کاهش می‌یابد. بنابراین در تامین ولتاژ تحت اغتشاشات بزرگ سیستم که در طی آن‌ها ولتاژ سیستم خارج از محدوده خطی است STATCOM بسیار موثرتر از SVC عمل می‌کند. قابلیت STATCOM در حفظ کامل جریان خروجی خازنی در شرایط ولتاژ پایین سیستم، باعث می‌شود STATCOM در حفظ پایداری گذرای سیستم بسیار موثرتر از SVC عمل کند.

در مواقعی که نیاز به جبرانسازی توان اکتیو است، STATCOM قادر است با استفاده از پایانه DC خود توان را از یک منبع ذخیره انرژی (باطری، بانک خازنی و غیره) بگیرد و از پایانه AC خود آن‌را به شبکه تزریق کند. در حالیکه SVC این قابلیت را ندارد.

تفاوت‌های اصلی بین SVC و STATCOM در جدول (۱-٤) بیان شده است.



شکل (۵-٤): مقایسه مشخصه V-I SVC و STATCOM

جدول (۱-٤): خلاصه‌ای از مهمترین تفاوت‌های بین SVC و STATCOM

SVC	STATCOM	ویژگی
امپدانسی با عملکرد مناسب در شرایط ولتاژ بالا	منبع جریان با عملکرد مناسب در شرایط ولتاژ پایین	مشخصه V-I
قابل تنظیم در هر محدوده‌ای با شاخه‌های مختلف CR/TSR/TSC	متقارن	محدوده کنترل
۱ تا ۳ سیکل	۱ تا ۲ سیکل	زمان پاسخ

ادامه جدول (۱-٤):خلاصه‌ای از مهمترین تفاوت‌های بین SVC و STATCOM

ویژگی	STATCOM	SVC
فضای مورد نیاز	٤٠-٥٠٪ در مقایسه با SVC	۱۰۰٪
دسترس‌پذیری	۹۸-۹٦٪	بیش از ۹۹٪
هزینه سرمایه‌گذاری	۱۲۰-۱۵۰٪	۱۰۰٪

٤-۲-٤ : ترانسفورماتور شیفت دهنده فاز (**PST/PAR**)

شکل (٦-٤) دیاگرام شماتیکی یک PST را نشان می‌دهد. ترانسفورماتور شیفت دهنده فاز که به آن تنظیم‌کننده ولتاژ فاز نیز گفته می‌شود به منظور کنترل توان انتقال یافته از خطوط مورد استفاده قرار می‌گیرد.PST این کار را با تغییر در دامنه و زاویه فاز ولتاژ انجام می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست PST از دو ترانسفورماتور و یک مبدل تشکیل شده است. ورودی شیفت‌دهنده فاز ولتاژ سه فازی است که توسط ترانسفورماتور تحریک (ET)[۱] فراهم می‌شود و خروجی آن ولتاژ سه فازی (Vp) است که بوسیله ترانسفورماتور سری تزریق (BT)[۲] به خط انتقال تزریق می‌گردد. مبدل نیز دامنه و زاویه فاز ولتاژ تزریقی را تعیین می‌کند. محدودیت‌ها و مزایای PST به مشخصات مبدل آن وابسته است. تنظیم-

۱. Excitation Transformer

۲. Boosting (Series) Transformer

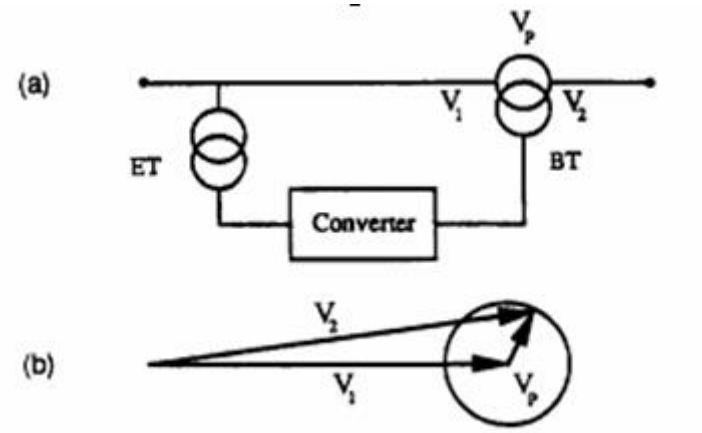
کننده‌های زاویه فاز سنتی را نیز می‌توان به صورت شکل (٦-4(a)) نمایش داد گرچه مبدل آن را سوییچ‌های مکانیکی تشکیل می‌دهد که در ثانویه ترانسفورماتور قرار دارند و نمی‌توان آن‌ها را واحدی مجزا در نظر گرفت. شکل (٦-٤(b)) نشان می‌دهد که چگونه با تغییر دامنه و فاز ولتاژ تزریقی (Vp) ولتاژ سیستم (V_2) نیز تغییر می‌کند. دایره شکل (٦-٤ (b)) ناحیه‌ای که Vp می‌تواند درآن قرار گیرد را نمایش می‌دهد. بنابراین می‌توان توان اکتیو و یا راکتیو انتقالی از خط را با تزریق ولتاژ دینامیکی کنترل‌پذیر مدوله کرد. مدوله‌کردن توان اکتیو و یا راکتیو می‌تواند نوسانات سیگنال کوچک سیستم را میرا کند و پایداری سیستم در برابر اغتشاشات سیگنال بزرگ را بالا ببرد. مهمترین کاربرد PST کنترل توان حقیقی و میراسازی نوسانات توان است. معمولاً دامنه تغییرات ولتاژ بوسیله PST ناچیز و قسمت عمده کنترل توان با تغییر در زاویه ولتاژ خط صورت می‌گیرد. در PSTهای جدید زاویه ولتاژ تزریقی بین 0 تا 2π قابل تنظیم است.

کاربردهای حالت ماندگار PST شامل موارد زیر است :

- کنترل توان خط انتقال،
- تقسیم مطلوب توان میان خطوط موازی،
- جلوگیری از گردش حلقوی توان میان خطوط.

کاربردهای دینامیکی و گذرا عبارتنداز:

- حذف نوسانات توان بین ناحیه‌ای،
- بهبود پایداری گذرا،
- کاهش فشارهای وارد بر شفت ژنراتور در حالت گذرا.



شکل (٦-٤): PST و نمودار فازوری ولتاژ

WikiPower.ir

٥-٢-٤ : جبرانسازی سری سنکرون استاتیک (**SSSC**)

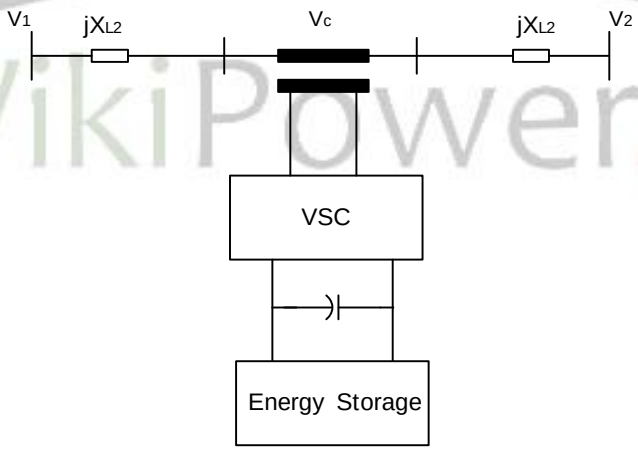
SSSC یک مبدل منبع ولتاژ سنکرون است که بطور سری با سیستم انتقال قرار می‌گیرد و از لحاظ عملکرد مشابه PST است. توان حقیقی موردنیاز SSSC جهت تبادل با شبکه قدرت از سوی یک منبع انرژی DC (باتری یا خازن که در سمت DC مبدل قرار دارد) تأمین می‌گردد. ولتاژ خروجی در SSSC با کنترل زمان هدایت سوییچ‌های واقع در مبدل منبع

ولتاژ صورت می‌گیرد. بنابراین تحت هر شرایطی (ماندگار/گذرا) با تنظیم ولتاژ خروجی SSSC توان خط انتقال کنترل می‌گردد.

عمده موارد کاربرد SSSC عبارتند از:

- کنترل دینامیکی پخش بار،
- کنترل دینامیکی ولتاژ،
- بهبود پایداری گذرا.

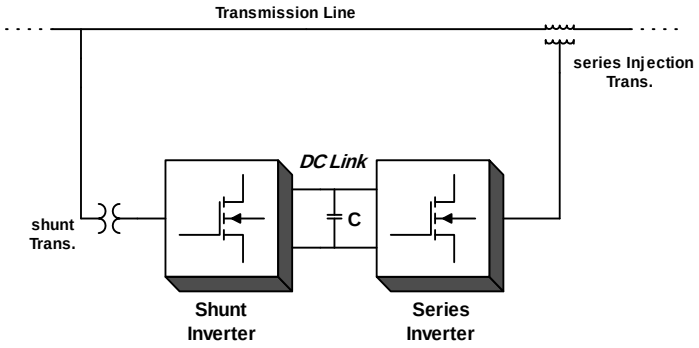
شکل (۷-٤) ساختار و طرز اتصال SSSC به شبکه را نشان می‌دهد.

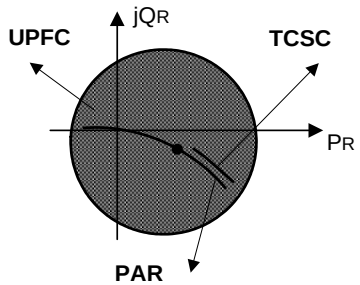


شکل (۷-٤) ساختار SSSC

٦-۲-٤ : کنترل‌کننده یکپارچه توان (**UPFC**)

UPFC از اتصال STATCOM و SSSC پدید می‌آید. بخش‌های سری و موازی در UPFC مشترکاً با یک خازن DC تغذیه می‌شوند. از لحاظ توانمندی UPFC کلیه اعمال جبرانسازی سری و موازی را با هم انجام می‌دهد و می‌تواند بطور پیوسته زاویه فـاز، امپـدانس و دامنـه ولتاژ را کنترل کند و بنابراین توان حقیقی و راکتیو خط انتقال را مستقلاً کنترل کند. بخـش-های سری و موازی در UPFC عملکرد مستقل دارند. از دیـدگاهی UPFC را مـی‌تـوان بـا PST مقایسه نمود با این تفاوت که ولتاژ سـری تزریـق بـا هـر فـاز و دامنـه (در محـدوده تعریف‌شده) قابل دستیابی است. UPFC قابلیت‌های STATCOM و TCSC را یک‌جا در بر دارد و حوزه عملکرد آن در صفحه توان (P-Q) وسـیعتر از سـایرین اسـت. شـکل (۸-٤) طرحی از UPFC را نشان می‌دهد. در این شکل همچنین حوزه کاری چند عنصـر FACTS با یکدیگر مقایسه شده است و چنانکه دیده می‌شـود UPFC نسـبت بـه بقیـه برتـری دارد. ناحیه هاشور خورده متعلق به UPFC است.





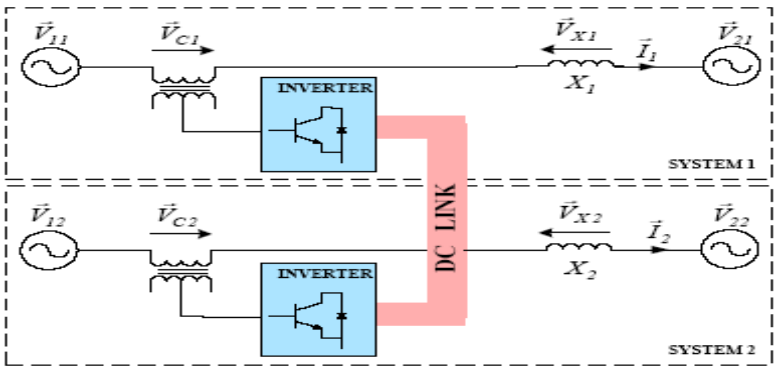
شکل (۸-٤): UPFC و ناحیه کاری چند نوع FACTS در صفحه P-Q

۷-۲-٤ : کنترل‌کننده توان بین خطوط (**IPFC**)

مفهوم IPFC را می‌توان توسعه مفهوم جبرانسازی سری سنکرون استاتیک (SSSC) دانست. SSSC وسیله‌ای مبتنی بر مبدل منبع ولتاژ (VSC)[۱] است که ولتاژی را به صورت سری با خط انتقال به آن تزریق می‌کند از آنجایی که شین DC مبدل منبع ولتاژ هیچ منبع توان حقیقی ندارد توان حقیقی تزریق‌شده بوسیله SSSC به خط انتقال به منظور اطمینان از بهره‌برداری مناسب وسیله باید صفر باشد (به غیر از مقدار کمی توان که در خود IPFC تلف می‌شود). این نشان می‌دهد که ولتاژ تزریق‌شده همیشه باید با جریان خط ۹۰ درجه اختلاف فاز داشته باشد و تنها متغیر قابل کنترل دامنه ولتاژ است. اگر دو خط از یک شین پست خارج شود و روی هر کدام یک SSSC باشد، شین‌های DC مبدل منبع ولتاژ می‌توانند تزویج شوند تا اجازه دهند توان حقیقی بین دو VSC تغییر کند. این آرایش IPFC نامیده می‌شود و شکل (۹-٤) این ساختار را نشان می‌دهد. با این ساختار توان حقیقی می‌تواند از یک طرف خط گرفته و به طرف دیگر تزریق شود. بنابراین برخلاف SSSC دیگر لزومی بر عمودبودن ولتاژ تزریقی بر جریان خط وجود ندارد. این نشان می‌دهد که هر دوی دامنه و فاز ولتاژ تزریق‌شده روی یک خط می‌تواند کنترل شود. اگرچه برای کارکرد مناسب عنصر،

۱. Voltage Source Convertor

ولتاژ شین DC باید ثابت نگه داشته شود و توان تزریق‌شده به یک خط باید با توان جذب شده با خط دیگر برابر باشد. بنابراین تنها یکی از متغیرهای ولتاژ تزریق‌شده به خط دیگر می‌تواند به صورت مستقل کنترل شود. مقادیر نامی IPFC می‌تواند با دو کمیت حداکثر دامنه ولتاژی که می‌تواند تزریق شود و مقدار نامی VA تعیین گردد. وقتی IPFC به توان نامی می‌رسد که دامنه ولتاژ تزریقی و جریان خط هر دو در مقدار نامی باشند.



شکل (۹-٤): ساختار IPFC

۸-۲-٤ : جبرانساز استاتیک تغییرپذیر(**CSC**)

تاکنون چند نوع عنصر FACTS معرفی گردید و دیده شد عناصر مختلف FACTS کاربردهای مختلفی در شبکه قدرت دارند. به عنوان مثال PST عمدتا برای کنترل توان، SVC برای کنترل سریع ولتاژ و غیره می‌باشند. موسسه EPRI به دنبال عنصری بود که بتواند در آن مجموعه خصوصیات عناصر مختلف FACTS را جمع کند تا از این طریق بر

محدودیت‌های انتقال توان بیش از پیش غالب شود. برای این منظور موسسه EPRI توانست با همکاری NYPA[۱] عنصر جدیدی از خانواده FACTS بسازد که این عنصر با توجه به نحوه ارتباط عناصر تشکیل‌دهنده آن به یکدیگر و به شبکه می‌تواند در مدهای مختلفی کار کند. با توجه به اینکه کارکرد این عنصر را با تغییر اتصالات می‌توان تغییر داد به آن جبرانساز استاتیکی تغییرپذیر (CSC) گویند.

CSC مذکور از دو مبدل منبع ولتاژ ۱۰۰ مگا ولت آمپر، یک ترانسفورماتور موازی ۲۰۰ مگاولت آمپر (با دو سیم‌پیچی ولتاژ پایین هر کدام ۱۰۰ مگاولت آمپر) و دو ترانسفورماتور سری ۱۰۰ MVA تشکیل شده است. این CSC در سال ۲۰۰۳ بر روی خطوط خروجی (۲ خط) از پست ۳٤٥kV مارسی[۲] نصب گردید و می‌تواند مانند STATCOM، UPFC، IPFC یا SSSC بهره‌برداری شود. از لحاظ عملکرد هر کدام از مبدل‌های ۱۰۰ MVA متصل به سیستم مانند یک STATCOM ۱۰۰ مگاولت آمپر عمل خواهد کرد. بسته به نحوه اتصال مبدل‌ها به یکدیگر و به شبکه، ۱۱ کارکرد مختلف را می‌توان از CSC انتظار داشت. جدول (۲-٤) کمیت‌های کنترل‌شده این ساختارها را نشان می‌دهد.

۱. New York Power Authority

۲. Marcy

جدول (۲-٤): کمیات کنترل‌شده ۱۰ نوع ساختار CSC

ساختار	متغیرهای کنترل شده ساختارهای CSC	
	کمیت کنترل‌شده مبدل ۱	کمیت کنترل‌شده مبدل ۲
یک STATCOM	V_T	—
دو STOTCOM	V_T	V_T
SSSC #۱	P_1	—
SSSC #۲	—	P_2
دو SSSC	P_1	P_2

WikiPower.ir

ادامه جدول (۲-٤): کمیات کنترل‌شده ۱۰ نوع ساختار CSC

ساختار	متغیرهای کنترل‌شده ساختارهای CSC	
	کمیت کنترل‌شده مبدل ۱	کمیت کنترل‌شده مبدل ۲
IPFC	P_1 (یا P_1 و Q_1)	P_2 و Q_2 (یا P_2)
یک STATCOM و SSSC#۱	V_T	P_1
یک STATCOM و SSSC#۲	V_T	P_2
UPFC #۱	V_T	P_1 و Q_1
UPFC #۲	V_T	P_2 و Q_2

۳

٤- انواع PST :

بطورکلی می‌توان انواع PST را در دو گروه جای داد. در گروه نخست از سوییچ‌های مکانیکی و قطعات متحرک استفاده می‌شود و در گروه دوم سوییچ‌های نیمه‌هادی و مبدل-های الکترونیک قدرت جایگزین سوییچ‌های مکانیکی شده است شیوه تنظیم ولتاژ خروجی در دو نوع PST مزبور متفاوت است.

سوییچ‌های مکانیکی که در انواع قدیمی‌تر PST به کار می‌رفتند دو اشکال عمده داشتند:

الف) کندی پاسخ به دلیل وجود قطعات متحرک با اینرسی بالا.

ب) مشکلات مربوط به تعمیر و نگهداری.

به دلیل اشکالات فوق سعی شد جایگزین مناسبی برای این نوع PST یافته شود. در حال حاضر در PSTهای مدرن سوییچ‌های مکانیکی جای خود را به سوییچ‌های نیمه‌هادی داده‌اند. می‌توان چنین استنباط کرد که هرگاه پاسخ زمانی یک PST در مقابل سیگنال‌های کنترلی اعمال‌شده به آن کاهش یابد (سرعت افزایش یابد) PST، علاوه بر قابلیت کنترلی آن در حالت ماندگار خواهد توانست کنترل توان را در شرایط گذرا یا دینامیکی سیستم قدرت نیز انجام دهد. با پیشرفت تکنولوژی نیمه هادی انواع مختلفی از PST با کاربردهای متنوع ابداع گردیده که در ساختمان آن‌ها به جای قطعات مکانیکی از مبدل‌های پرقدرت نیمه-هادی استفاده می‌شود. خصوصیت برجسته این PSTها که از مبدل‌های نیمه‌هادی ساخته

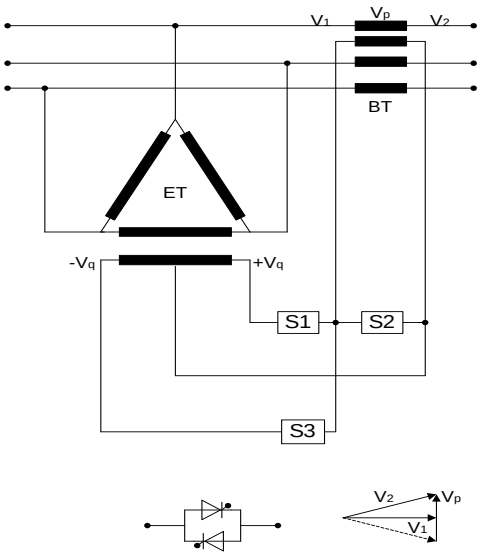
شده‌اند علاوه بر سرعت بالا، تأمین نمودن توان اکتیو و راکتیو موردنیاز PST به صورت محلی است. در این گونه PSTها به نصب جبرانسازهای ثابت نیاز نیست (جبرانسازی با خازن‌های ثابت در انواع قدیمی‌تر PST جهت ممانعت از عبور توان راکتیو از سیستم انتقال صورت می‌گرفت). مبدل‌های به‌کاررفته در این نوع PST توان موردنیاز را به صورت محلی تأمین می‌نماید و در نتیجه توان راکتیو خط انتقال قابل کنترل می‌گردد .

در ادامه به اختصار انواع PST و برخی از کاربردها و ملاحظات ذکر می‌گردد .

PST نوع A

این نوع PST در شکل (۱۰-٤) نشان داده شده است . این نوع می‌تواند بطور پیوسته فقط دامنه ولتاژ تزریق‌شده را تنظیم نماید و از دو ترانسفورماتور BT و ET ساخته شده است. ترانسفورماتور ET یک ولتاژ (Vq) با ۹۰ ± درجه اختلاف فاز نسبت به ولتاژ خط تولید می‌نماید و ترانسفورماتور BT ولتاژ تولیدشده را در خط تزریق می‌کند. مبدل‌های استاتیک نشان داده شده در هر فاز متشکل از سه مجموعه سوییچ S1، S2 و S3 می‌باشد. سوییچ‌ها دارای قابلیت هدایت دوطرفه جریان هستند. سوییچ S2 زمانی که S1 و S3 خاموش هستند، مسیر عبور جریان برای ترانسفورماتور BT را ایجاد می‌کند. این نوع PST دارای دو مود عملکرد است. مود تزریق که ولتاژ تزریق‌شده توسط Vq+ و سوییچ‌های S1 و S2

تعیین می‌شود و مود Buck که ولتاژ تزریق‌شده توسط Vq- و سوییچ‌های S2 و S3 تعیین می‌گردد. این نوع PST دارای قابلیت تنظیم پیوسته ولتاژ تزریق‌شده است.



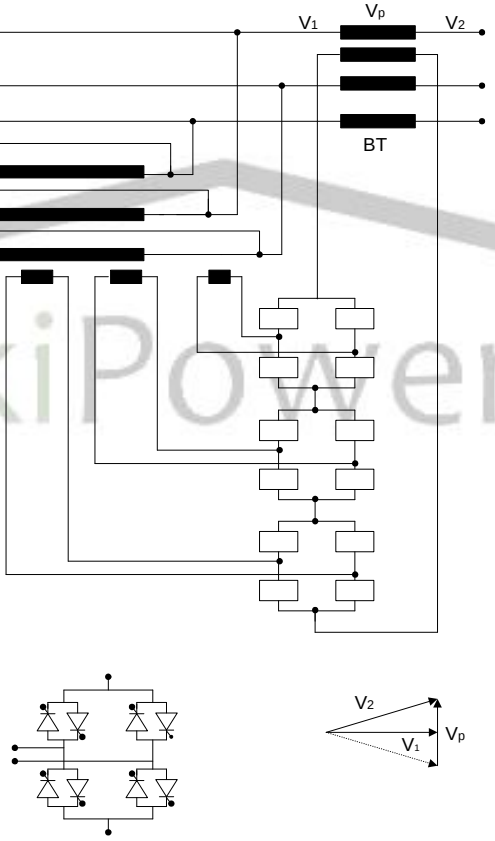
شکل (۱۰-٤): PST نوع A

WikiPower.ir

PST نوع B

شکل (۱۱-٤) این نوع PST را نمایش می‌دهد. PST یک ولتاژ فاز عمودی قابل تنظیم ایجاد می‌کند. در این نوع PST دامنه ولتاژ تزریق‌شده در گام‌های ناپیوسته تنظیم می‌گردد. سمت ثانویه هر فاز از ترانسفورماتور ET متشکل از N سیم‌پیچی است. تعداد دور این سیم‌پیچی‌های متوالی با ضریب ۳ تغییر می‌کند. هر سیم‌پیچی متصل به یک مبدل (از مجموعه کل مبدل‌ها) می‌باشد که این مبدل‌ها بطور سری یا موازی نسبت به سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور BT و ET متصل می‌شوند با این تمهید ^{N} ۳ سطح ولتاژ مجزا از افزودن و

کاستن ولتاژهای ثانویه سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور ET حاصل می‌شود. در شکل (۱۱-٤) هر مبدل و نمودار فازوری ولتاژها نشان داده شده‌اند. مزیت این نوع PST این است که محتوای هارمونیکی ولتاژ خروجی (در مقایسه با نوع A) ناچیز است در PST نوع B دامنه ولتاژ با گام‌های ناپیوسته کنترل می‌شود. ولتاژ سری تزریق‌شده در خط توسط این نوع PST ±۹۰ درجه با ولتاژ سیستم اختلاف فاز دارد.

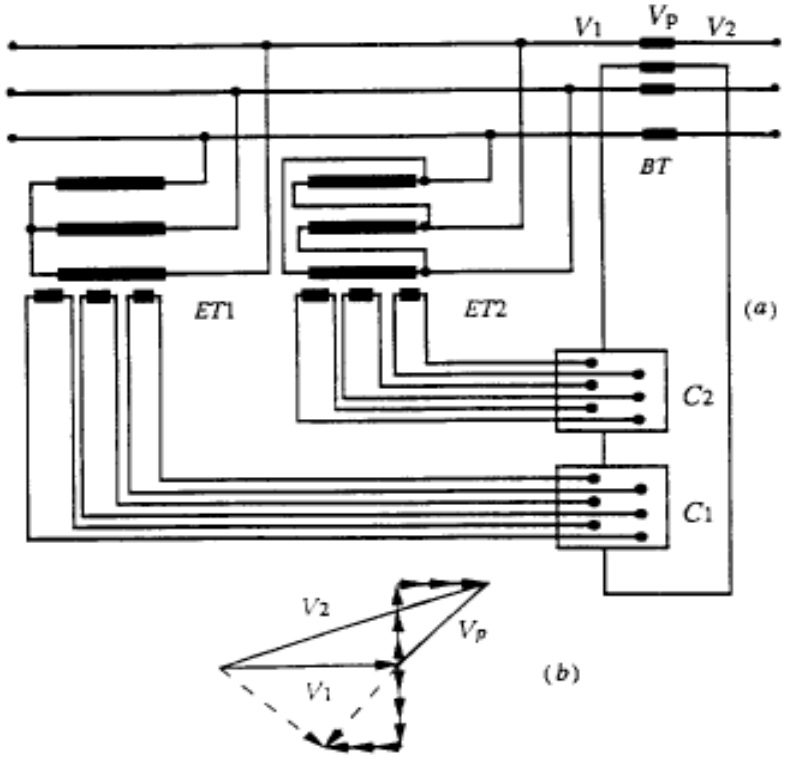


شکل (۱۱-٤): PST نوع B

PST نوع B1

این نوع PST در شکل (۱۲-٤) نشان داده شده است. PST نوع B1 براساس اصول عملکرد PST نوع B کار می‌کند. اگرچه می‌تواند دامنه و فاز ولتاژ تزریقی را به صورت گسسته کنترل کند.

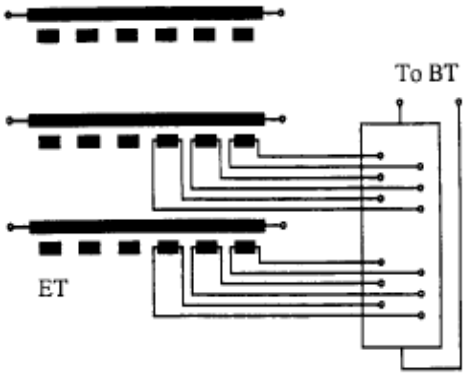
PST از دو ترانسفورماتور تحریک ET1 و ET2 بهره می‌برد. که به ترتیب ولتاژهای همفاز با ولتاژ خط و عمود بر آن در طرف ثانویه تولید می‌کنند. این PST همچنین از دو مبدل C1 و C2 که به صورت سری متصلند بهره می‌برد. هر کدام از مبدل‌ها مشابه مبدل نوع B است. دامنه و فاز ولتاژ Vp با کنترل مود عملکرد مبدل‌های C1 و C2 به صورت گسسته قابل تنظیم است. PST نوع B1 نیز مانند نوع B فیلترهای هارمونیکی نیاز ندارد.



شکل (۱۲-٤): PST نوع B1

PST نوع B2

می‌توان از یکی از ترانسفورماتورهای تحریک نوع B1 به عنوان مثال ET1 در عوض ساختار نسبتاً پیچیده‌تر و گران‌تری برای ET2 صرف‌نظر کرد. شکل (۱۳-٤) نشان می‌دهد که طرف ثانویه هر فاز ET متشکل از دو مجموعه سیم‌پیچی است. مجموعه دوتایی سیم‌پیچی‌های ET با پایه‌های مختلف از طریق یک مبدل به یک فاز از BT وصل هستند. از آنجایی که ترانسفورماتورهای تحریک درصد بالایی از هزینه PST را تشکیل می‌دهند صرفنظرکردن از یک ترانسفورماتور از لحاظ اقتصادی قابل توجیه است.

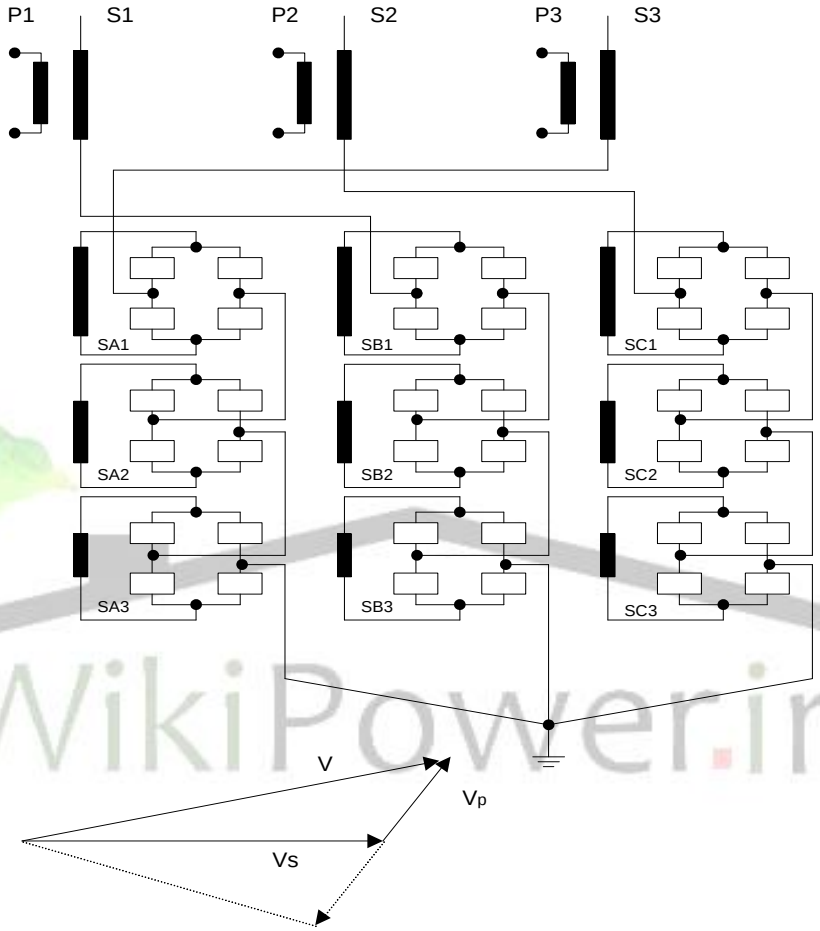


شکل (۱۳-٤): سیم‌پیچ تحریک PST نوع B2

PST نوع C

این نوع PST در شکل (۱٤-٤) نمایش داده شده است . در این نوع PST از ترانسفورماتورهای ET و BT استفاده نمی‌گردد. بلکه مجموعه‌ای از سیم‌پیچ‌های جانبی که در شکل با SA1-SA3 ، SB1-SB3 و SC1-SC3 مشخص شده‌اند، بر روی ساق‌های S1 تا S3 ترانسفورماتور نصب می‌شوند. این سیم‌پیچی‌ها در واقع تپ‌های ترانسفورماتور محسوب می‌شوند و از طریق مبدل‌ها به سیم‌پیچی‌های اصلی متصل می‌گردند. در این ساختار، مبدل از پل‌های تریستوری ساخته شده و از این دیدگاه شبیه مبدل‌های بکاررفته در PST نوع B است. اتصال سیم‌پیچی‌ها بگونه‌ای است تا اختلاف فاز ٦۰° پیش‌فاز یا

°۱۲۰پس‌فاز، نسبت به ولتاژ ترانسفورماتور متناظر با آن ایجاد گردد. نمودار فازوری به روشن شدن مطلب کمک می‌کند.

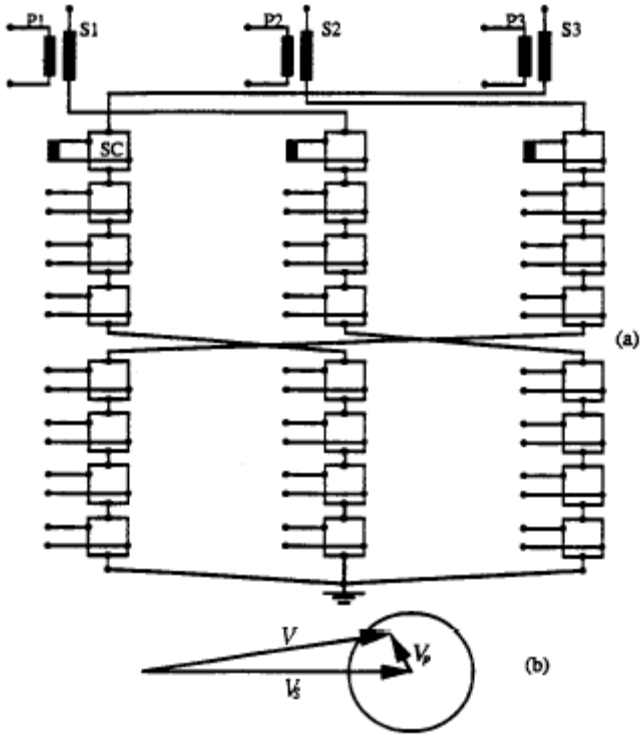


شکل (۱۴-٤): PST نوع C

PST نوع C1

این نوع PST در شکل (۱۵-٤) نشان داده شده است . PST نوع C1 گونه پیشرفته نوع C است و می‌تواند دامنه ولتاژ را به خوبی فاز ولتاژ کنترل کند. هر فاز از PST نوع C1 از دو

مجموعه مبدل که به دو مجموعه از سیم‌پیچ‌های کمکی متصل‌انـد تشـکیل شـده اسـت. دو مجموعه سیم‌پیچ‌ها روی پایه‌های مختلف ترانسفورماتور نصب هستند. دامنـه و زاویـه فـاز ولتاژ تزریقی PST با کنترل مود عملکرد مبدل‌ها در گام‌های گسسته قابل تنظیم است. شکل (۱۵-٤(b)) رابطه فازوری بین ولتاژ سیستم و ولتاژ تزریقی را نشان می‌دهد.

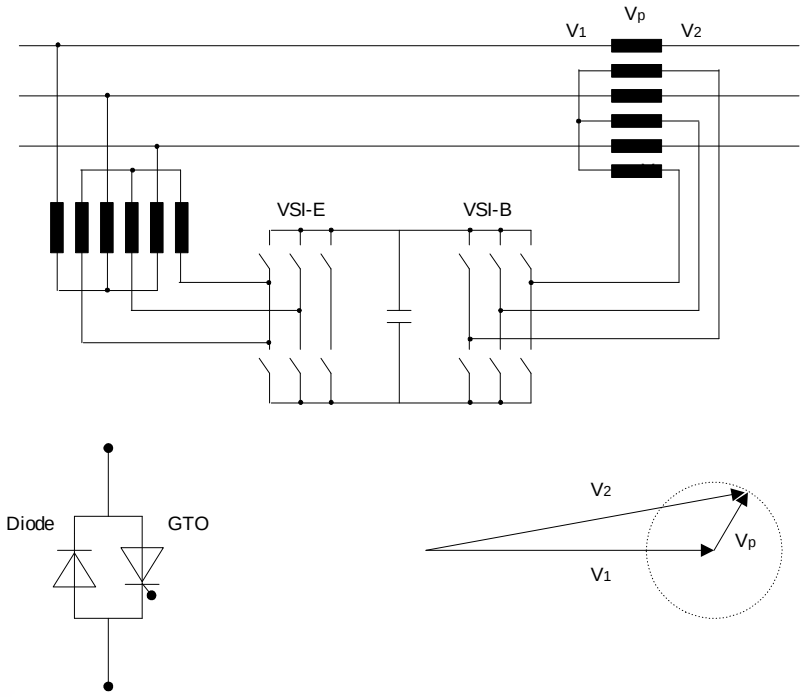


شکل (۱۵-٤): PST نوع C1

PST نوع D

در شکل (۱۶-4) این نوع PST نشان داده شده است. مبدل‌های استاتیک از نوع مبدل مدولاسیون پهنای پالس[۱] (PWM) منبع ولتاژ و جریان است که با یک خازن مشترک تغذیه می‌شوند. در هر ساق مبدل VSI، سوییچ نیمه‌هادی معمولاً GTO (به طور موازی با یک دیود معکوس) بکار می‌رود. معمولاً از روش مدولاسیون پهنای پالس جهت تولید و کنترل ولتاژ استفاده می‌شود. هر یک از مبدل‌ها می‌تواند اندازه و فرکانس ولتاژ خروجی خود را کنترل نماید. چون در کاربردهای قدرت بندرت کنترل فرکانس خروجی موردنیاز است. عملاً این مبدل‌ها دامنه و فاز ولتاژ خروجی را تنظیم می‌نمایند. در شکل (۱۶-٤) VSI-E بطور موازی با سیستم انتقال قرار گرفته و کار اصلی آن تنظیم ولتاژ خازن DC است. جبرانسازی توان راکتیو از وظایف فرعی VSI-E محسوب می‌شود. این نوع PST برخلاف انواع قبلی با شبکه قدرت توان راکتیو مبادله می‌کند و به همین دلیل ترجیحاً در نزدیکی منابع توان راکتیو نصب می‌گردد. لازم به ذکر است که این نوع PST در واقع یک UPFC است اما چون قابلیت‌های PST را دربردارد در گروه D انواع PST نیز رده‌بندی می‌شود.

۱. Pulse Width Modulation



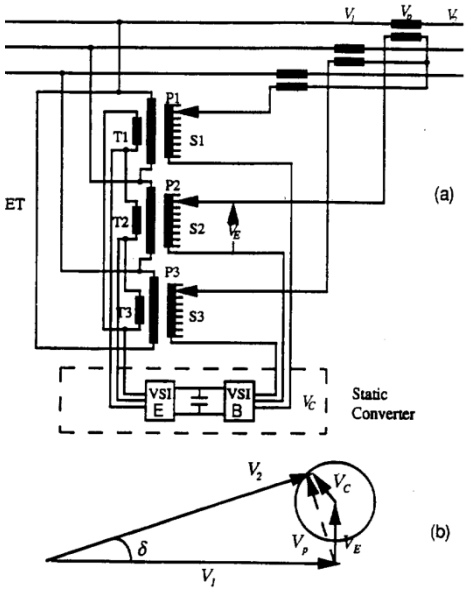
شکل (۱۶-٤): PST نوع D

PST نوع D1

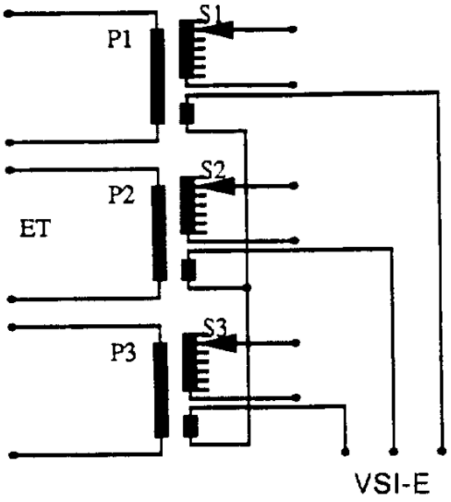
شکل (۱۷-٤) PST نوع D1 را نشان می‌دهد. PST یک تنظیم‌کننده متداول (مکانیکی) زاویه فاز تحت بار است که یک مبدل استاتیکی به آن افزوده شده است. مبدل استاتیکی متشکل از دو GTO مبتنی بر VSI است که از طریق ارتباط DC به‌هم متصل‌اند. مدار و اصول عملکرد مبدل استاتیکی مشابه نوع D است که قبلاً توضیح داده شد. VSI-E به مجموعه سیم‌پیچ‌های ثالثیه T1، T2 و T3 که جزء ترانسفورماتور تحریک هستند متصل است. مولفه‌های ولتاژ خروجی سه فاز VSI-B(V_C) به صورت برداری با مجموعه مولفه-های ولتاژ سه فاز (V_E) در ثانویه ترانسفورماتور تحریک ET، S1، S2 و S3 جمع می‌شود.

بنابراین ولتاژ تزریقی به سیستم $V_P = V_E + V_C$ است. شکل (۱۷-٤ (b)) رابطه فازوری بین V_1 و V_2 را نشان می‌دهد. دامنه V_E بوسیله پروسه کند تغییر تپ مکانیکی تعیین می‌شود و می‌تواند برای تنظیم پخش بار، تقسیم بار و کنترل توان‌های حلقوی در حالت ماندگار استفاده شود. هر دوی دامنه و زاویه فاز V_C می‌تواند با مبدل استاتیک به سرعت کنترل شود. بنابراین زاویه δ در شکل (۱۷-٤) می‌تواند بصورت دینامیکی برای مدولاسیون پخش بار تنظیم شود. مدولاسیون پخش بار می‌تواند برای میرا کردن نوسانات سیگنال کوچک نوسانات پیچشی و بین ناحیه‌ای استفاده شود. دایره شکل(۱۷-٤(b)) ناحیه‌ای که V_C (همچنین V_2 و V_P) درون آن قرار گرفته است را نشان می‌دهد. در عمل مدولاسیون توان مورد نیاز برای میراکردن نوسانات سیگنال کوچک را می‌توان انجام داد. حتی اگر دامنه V_C خیلی کوچکتر از دامنه V_E باشد($|V_C| < 0.15 |V_E|$) بنابراین اضافه‌کردن یک مبدل استاتیکی نسبتاً کوچک به تنظیم‌کننده زاویه فاز موجود، علاوه بر تنظیم توان حالت ماندگار، آن‌را قادر می‌سازد که نوسانات سیگنال کوچک را میرا کند.

اگر ET شکل (۱۷-٤(a)) سیم‌پیچی ثالثیه T_1، T_2 و T_3 نداشته باشد و ساختار فیزیکی‌اش اجازه افزودن این سیم‌پیچ‌ها را ندهد آنوقت قسمت‌های ثانویه S_1، S_2 و S_3 را می‌توان به جای T_1، T_2 و T_3 برای منبع ولتاژ VSI-E به کار برد. شکل (۱۸-٤) این آرایش را نشان می‌دهد. از آنجا که دسترسی مستقیم به سر تپ‌ها وجود دارد چنین همچون آرایشی را می‌توان در عمل بدون هیچ تغییری به کار برد.



شکل (۱۷-٤): PST نوع D1

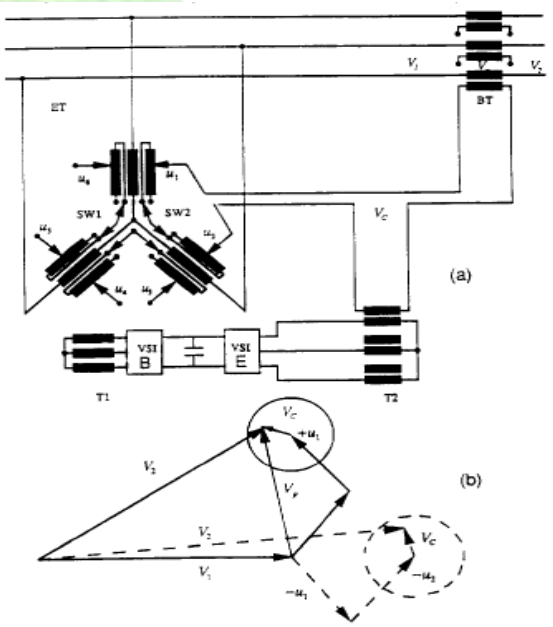


شکل (۱۸-٤): ترانسفورماتور تحریک PST نوع D1 (بدون سیم پیچ‌های ثالثیه)

PST نوع D2

این نوع PST در شکل (۱۹-٤) نشان داده شده است. مانند نوع D1، این نوع PST نیز یک تنظیم کننده زاویه فاز مکانیکی است که برای بالابردن سرعت تنظیم زاویه فاز یک مبدل

استاتیک به آن افزوده شده است. شکل (۱۹-٤(a)) آرایشی از سیم‌پیچ ترانسفورماتور تحریک برای تنظیم‌کننده زاویه فاز با سوییچ مکانیکی را نشان می‌دهد. دامنه و زاویه فاز ولتاژ تزریقی برای تنظیم پخش توان حالت ماندگار با سوییچ‌های مکانیکی (SW1، SW2 و SW3) و انتخاب تپ مکانیکی تعیین می‌شود.



شکل (۱۹-٤): PST نوع D2

مبدل استاتیک، ولتاژ کنترل‌پذیر سریع V_C را ایجاد می‌کند که برای تنظیم زاویه فاز دینامیکی استفاده می‌شود. شکل (۱۹-٤(b)) رابطه فازوری بین ولتاژهای سیستم (V_2,V_1) و ولتاژ تزریقی $(V_P= \pm U_1 \pm U_2+V_C)$ را نشان می‌دهد. VSI-E به مجموعه سیم‌پیچ‌های T_1 که

ثالثیه ترانسفورماتور تحریک‌اند وصل است. مشابه ساختار توضیح داده شده در شکل (۱۸-٤)، به جای اضافه‌کردن سیم‌پیچ‌های ثالثیه به ترانسفورماتور تحریک، می‌توان از سیم‌پیچ‌های ثانویه ET استفاده کرد.

مولفه ولتاژ V_C شکل (۱۹-٤) اصولاً برای میراکردن نوسانات سیگنال کوچک، نوسانات پیچشی و نوسانات بین ناحیه‌ای استفاده می‌شود. بنابراین حداکثر دامنه V_C بطور قابل توجهی کوچکتر از حداکثر دامنه $\pm U_1 \pm U_2$ است.

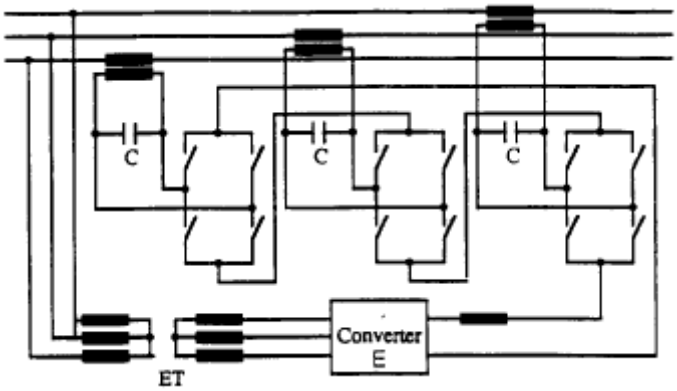
$$0.15 \ \text{Max}|\pm U_1 \pm U_2| > \text{Max}\ |V_C|$$

این بدین معنی است که اضافه‌کردن یک مبدل کوچک به تنظیم‌کننده زاویه فاز معمولی (مگاولت آمپر هر VSI حدود ۱۰٪ مگاولت آمپر ET) می‌تواند به دستگاه قابلیت میراکردن نوسانات سیستم را علاوه بر تنظیم پخش بار حالت ماندگار بدهد.

WikiPower.ir

PST نوع E

شکل (۲۰-٤) این نوع PST را نشان می‌دهد. این نوع PST یک GTO مبتنی بر PWM است. سیم‌پیچ ثانویه هر ترانسفورماتور تزویج به یک مبدل تکفاز متصل است. هر سوییچ مبدل از یک دیود و GTO اتصال موازی ـ معکوس تشکیل شده است. سه مبدل مربوط به سه فاز مختلف با یکدیگر سری هستند. دامنه و زاویه فاز ولتاژ تزریق‌شده بوسیله کنترل فاز و ولتاژ سه بانک خازنی موازی با ترانسفورماتور تزریق تعیین می‌شود.



شکل (۲۰-۴): PST نوع E

خصوصیات انواع **PST**

خصوصیات مشترکی در انواع A تا C از لحاظ عملکرد و ساختار نظایر آنها در PST دیده می‌شود. در انواع A تا C از سوییچ‌های تریستوری استفاده می‌شود و این سوییچ‌ها (مبدل‌ها) براساس کموتاسیون طبیعی[۱] کار می‌کنند در مبدل‌های PST نوع D سوییچ‌های GTO مورداستفاده قرار می‌گیرد و خاموش و روشن‌شدن آنها به روش کموتاسیون اجباری[۲] صورت می‌گیرد. در نوع A حدود بالایی و پایینی زاویه آتش تریستورها تابعی از شرایط کار سیستم قدرت است و به این دلیل در شرایط خاصی محدوده آنها بسیار باریک می‌شود. همچنین محدودیت تعیین‌کننده عملکرد نوع A، بالا بودن محتوای هارمونیکی ولتاژ خروجی است. در نوع B و C (شامل زیرگروه C1) از روش گسسته کنترل جهت تنظیم

۱. Natural Comutation
۲. Forced Comutation

ولتاژ خروجی استفاده می‌شود چون در این روش کنترل زاویه آتش، هر یک از مبدل‌های واقع در ساق‌ها در مضارب صحیحی از نیم سیکل‌ها هدایت می‌کنند، هارمونیک‌های ولتاژ خروجی محدود می‌گردد و به نصب فیلتر نیازی نیست. همچنین در این روش کنترل، تاثیر شرایط کار سیستم بر فرآیند کنترل ناچیز است. در نوع D (و خانواده‌های آن) از اینورتر منبع ولتاژ (VSI) استفاده می‌شود. یکی از خصوصیات برجسته این نوع PST عدم وابستگی عملکرد مبدل‌ها به شرایط کار سیستم است و همچنین خروجی آن‌ها به طور پیوسته و درهر شرایطی قابل کنترل است. در جدول (۳-٤) عملکرد انواع PST با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول (۳-٤): مقایسه عملکرد انواع PST

نوع PST	ولتاژ تزریق شده					
	اندازه ولتاژ		زاویه فاز (درجه)		فرکانس	
	پیوسته	گسسته	پیوسته	گسسته	ثابت	قابل تنظیم
نوع-A	√			۹۰- تا ۹۰+	√	
نوع-B		√		۹۰- تا ۹۰+	√	

نوع-B1		√		۰ تا ۳۶۰	√	
نوع-B2		√		۰ - ۳۶۰	√	
نوع- C		√		(-۱۲۰) تا ۶۰	√	
نوع-C1	√	√		۰- ۳۶۰	√	
نوع-D	√		√			√
نوع-D1	√		√			√
نوع-D2	√		√			√
نوع-E	√		√			√

WikiPower.ir

٤-٤ : کاربرد انواع PST

در ادامه کاربرد PST در دوره‌های مختلف زمانی سیستم قدرت آمده است البته به دلیل محدودیت‌هایی که در عمل وجود دارد همواره بخشی از این قابلیت‌ها در دسترس است. این کاربردها به دوره‌های زمانی ماندگار و گذرا تقسیم می‌شود.

کاربردهای حالت ماندگار عبارت است از:

- کنترل توان خط انتقال

- تقسیم مطلوب توان میان خطوط موازی
- جلوگیری از چرخش حلقوی توان میان خطوط

کاربردهای دینامیکی و گذرا عبارتند از:

- حذف نوسان بین ناحیه‌ای توان
- بهبود پایداری گذرا
- کاهش فشارهای وارد بر شفت ژنراتور در حالت گذرا

در جدول (٤-٤) کاربرد انواع PST با یکدیگر مقایسه شده است. چنانکه دیده می‌شود PST نوع E عملکرد برتری نسبت به سایرین دارد. برای مثال جهت کاهش گشتاورگذاری وارد بر شفت، بکارگیری نوع D موجب کاهش دامنه ولتاژ سری تزریق‌شده می‌گردد و بنابراین MVA موردنیاز تقلیل می‌یابد. لازم به ذکر است که عملاً برخی از قابلیت‌های قیدشده در جدول (٤-٤) بدلیل محدودیت در ظرفیت PST غیرقابل دسترس می‌باشد.

٤-٥ : مزایای FACTS

استفاده از ادوات FACTS در سیستم انتقال انرژی الکتریکی مزایای زیادی را دربر دارد. در ادامه مرور مختصری بر برخی از مهمترین آنها شده است:

الف) استفاده موثر از تجهیزات موجود در سیستم انتقال

در بسیاری از کشورها افزایش ظرفیت حمل توان و کنترل فلوی توان در خطـوط انتقـال از اهمیت حیاتی برخوردار است. به خصوص در محیط‌های تجدید ساختار شده که موقعیـت تولید و مراکز بار می‌تواند به سرعت تغییر کند اضافه‌کردن خطوط جدید جهت پاسخگویی به افزایش تقاضا بوسیله قیود محیطی و اقتصادی محدود اسـت. اداوات FACTS در جهـت پاسخگویی به این نیازها در سیستم انتقال موجود کمک می‌کند.

جدول (٤-٤): مودهای عملکرد PST

گشتاورها ی گذرا	پایدار ی گذرا	فعل و انفعالات هارمونیک ی	رزونانس زیر سنکرون	مدها ی بین ناحیه-ای	توان‌های چرخشی	تقسیم بار	پخش بار	نوع PST
----	----	----	----	----	√	√	√	نوع A–
√	√	----	√	√	√	√	√	نوع B–

نوع B1–	√	√	√	√	√	----	√	√
نوع B2–	√	√	√	√	√	----	√	√
نوع C –	√	√	√	√	√	----	√	√
نوع – C1	√	√	√	√	√	----	√	√
نوع D–	√	√	√	√	√	√	√	√
نوع – D1	√	√	√	√	√	√	√	----
نوع –	√	√	√	√	√	√	√	----

WikiPower.ir

D2								
نوع E–	√	√	√	√	√	√	√	√

ب) افزایش قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری[۱] سیستم انتقال

قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری سیستم انتقال متاثر از عوامل مختلفی است. اگرچه ادوات FACTS نمی‌توانند از وقوع خطا جلوگیری کنند ولی می‌توانند تاثیرات نامطلوب خطا را به طور قابل توجهی کاهش دهند. به عنوان مثال یک قطع بار عمده منجر به اضافه ولتاژ خط می‌شود که آن نیز به نوبه خود می‌تواند باعث خروج خط شود. SVC ها و STATCOMها اضافه ولتاژ را خنثی می‌کنند و از خروج خط جلوگیری می‌کنند.

WikiPower.ir

پ) افزایش پایداری گذرا و دینامیکی شبکه و کاهش گردش حلقوی توان

خطوط انتقال بلند، شبکه متصل بهم، اثرات تغییر بار و خطاهای خطوط می‌تواند ناپایداری‌هایی را در سیستم انتقال ایجاد کند این امر می‌تواند منجر به کاهش توان خطوط، گردش حلقوی توان و یا حتی خروج خطوط دیگر شود. ادوات FACTS با افزایش ظرفیت حمل توان خطوط و کاهش ریسک خروج خطوط سیستم انتقال را پایدار می‌سازند.

۱. Availability

ت) افزایش کیفیت توان برای صنایع حساس

صنایع مدرن نیاز به انرژی الکتریکی با کیفیت بالا دارند، شامل ولتاژ و فرکانس ثابت و عدم قطعی در انرژی الکتریکی آنها، افت ولتاژ، انحراف فرکانس و یا از دست دادن منبع تامین انرژی الکتریکی می‌تواند منجر به وقفه‌هایی در پروسه‌های تولید و در نتیجه ضررهای اقتصادی بالایی شود. ادوات FACTS می‌توانند در جهت تأمین کیفیت لازم برای منابع مورداستفاده قرار گیرند.

ث) مزایای زیست محیطی

ادوات FACTS وسایلی سازگار با محیط زیست هستند و هیچ مواد خطرناکی در آن‌ها وجود ندارد و آلودگی نیز ایجاد نمی‌کنند. ادوات FACTS به توزیع انرژی الکتریکی اقتصادی‌تر ازطریق بهره‌برداری بهتر از تجهیزات موجود، با کاهش نیاز به اضافه‌کردن خطوط انتقال کمک می‌کند.

ج) مزایای مالی استفاده از ادوات **FACTS**

سه مورد وجود دارد که به آسانی می‌توان مزایای مالی استفاده از ادوات FACTS را برآورد کرد.

۱- افزایش فروش انرژی ناشی از افزایش ظرفیت انتقال

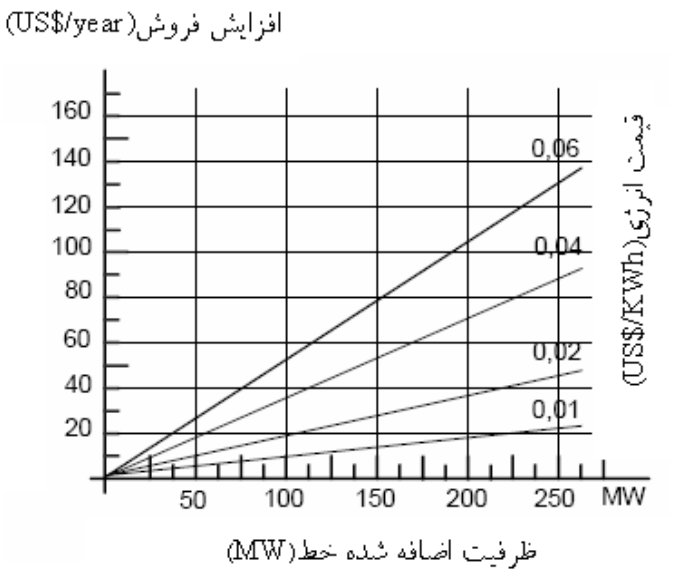
۲- افزایش بهای ترانزیت برق[۱] ناشی از افزایش ظرفیت انتقال

۳- اجتناب و یا تاخیر در سرمایه‌گذاری

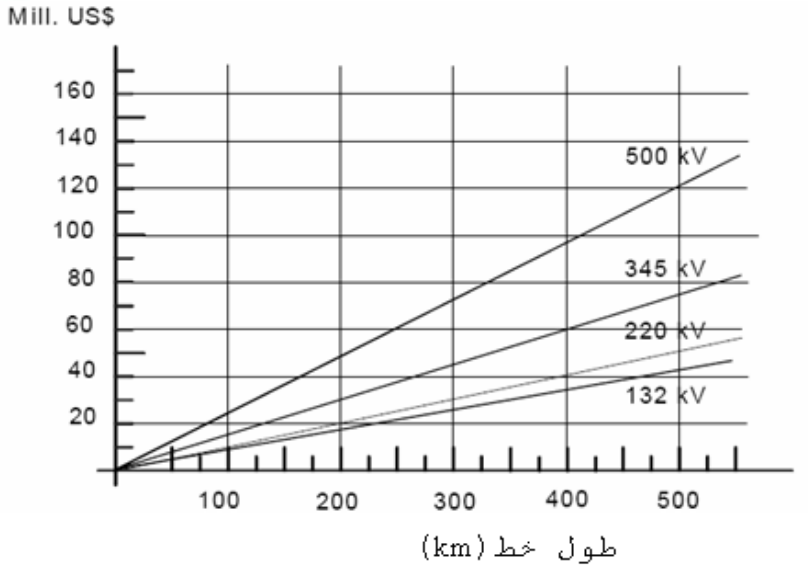
شکل (۲۱-٤) امکان افزایش فروش را برحسب US$/year با توجه به قیمت‌های مختلف برای انرژی، هنگامی که ظرفیت خط انتقال قابل افزایش باشد را نشان می‌دهد. شکل (۲۲-٤) به طور نمونه هزینه‌های سرمایه‌گذاری خطوط انتقال AC ولتاژ بالا را نشان می‌دهد. در ادامه با دو مثال مزیت فوق توضیح داده می‌شود.

مثال ۱: اگر با استفاده از ادوات FACTS ظرفیت خط انتقال کاملاً بارگیری شده‌ای را بتوان به اندازه ۵۰ MW افزایش داد (به عنوان مثال خط انتقال ۱۳۲ kV و یا بالاتر) می‌توان فروش اضافی معادل ۵۰ MW را بدست آورد. با فرض ضریب بار ۱ و قیمت فروش 0.02 US$/kwh افزایش فروش انرژی الکتریکی سالانه تا حداکثر 8.8 Million US$ را خواهیم داشت.

۱. Wheeling Charges



شکل (۲۱-٤): افزایش فروش سالانه ناشی از افزایش ظرفیت خطوط انتقال



شکل (۲۲-٤): هزینه‌های نمونه‌ای احداث خطوط جدید انتقال AC

مثال ۲: فرض کنیم هزینه‌های سرمایه‌گذاری خط ٤۰۰kV به طول ۳۰۰km تقریباً ٤٥ میلیون US$ باشد به ازای نرخ بهره ۱۰٪، اجتناب از احداث این خط منجر به کاهش هزینه ٤/٥

میلیون US$ در سال می‌شود. نصب عنصر FACTS با هزینه ۲۰ میلیون US$ از لحاظ اقتصادی در صورتی موجه است که بتوان از احداث خط جلوگیری کرد یا حداقل ۵ سال احداث آنرا به تاخیر انداخت (۲۲/۵ US$ = ٤/٥ US$ * ٥).

مثال‌های فوق محاسبات ساده‌ای است، برای نشان‌دادن مزایای مالی مستقیم که از نصب ادوات FACTS می‌تواند حاصل شود. همچنین مزایای غیرمستقیمی نیز از نصب ادوات FACTS حاصل می‌شود که محاسبه آنها پیچیده‌تر است، از جمله کاهش خسارت‌های ناشی از قطع برق صنایع بر اثر وقوع پیشامدهایی در شبکه و یا کاهش هزینه ناشی از قطع بار در شرایط پیک.

WikiPower.ir

٦-٤ : کاربردهای ادوات FACTS

با توجه به قابلیت ادوات FACTS در رفع مشکلات مربوط به شبکه قدرت این عناصر کاربردهای مختلفی در شبکه قدرت پیدا کرده‌اند. جدول (٥-٤) مزایای فنی به کارگیری برخی از مهمترین عناصر FACTS در مطالعات مختلف را نشان می‌دهد. در یک دسته‌بندی کلی می‌توان کاربردهای FACTS را به دو نوع کاربردهای حالت ماندگار و کاربردهای دینامیکی دسته‌بندی نمود.

جدول (٥-٤): مزایای فنی بکارگیری ادوات FACTS

	کنترل پخش بار	کنترل ولتاژ	پایداری دینامیکی	پایداری گذرا
SVC	*	***	**	*
STATCOM	*	*	**	**
TCSC	**	***	**	***
UPFC	***	***	**	**

* تعداد نماینده میزان کارایی در مود کنترلی مشخص شده در جدول است.

کاربردهای حالت ماندگار ادوات **FACTS**

منظور از کاربردهای حالت ماندگار، شرایطی است که در آنها از ادوات FACTS بـه منظـور بهبود کارکرد حالت ماندگار سیستم بهره‌گرفته می‌شـود. جـدول (٦-٤) برخـی از مهمتـرین کاربردهای حالت ماندگار ادوات FACTS را نشان می‌دهد.

جدول (٦-٤): کاربردهای حالت ماندگار ادوات FACTS

عنصر FACTS	راه حل متداول	عمل اصلاحی	نوع مشکل	موضوع
VC, TCSC, STATCOM	خازن سری یا موازی	تزریق توان راکتیو	افت ولتاژ در بارگذاری شدید	حدود ولتاژ
SVC,TCSC, STATCOM	خروج خطوط EHV یا خازن‌های موازی	حذف منبع راکتیو	اضافه ولتاژ در بارگذاری کم	
SVC, STATCOM	وارد/خارج کردن راکتور و خازن	جذب توان راکتیو		
SVC, STATCOM	نصب راکتور	جذب توان راکتیو	اضافه ولتاژ در اثر پیشامد	
SVC	نصب برقگیر	تجهیزات محافظ		

SVC, STATCOM	وارد/خارج کردن راکتور و خازن موازی، خازن سری	تزریق توان راکتیو	افت ولتاژ در اثر پیشامد	
TCPST, TCSC	راکتور سری و PST	جلوگیری از اضافه بار		
TCSC,UPFC, STATCOM, SVC	ترکیب دو یا چند وسیله	تزریق توان راکتیو و کاهش اضافه بار	افت ولتاژ و اضافه بار	

WikiPower.ir

ادامه جدول (٦-٤): کاربردهای حالت ماندگار ادوات FACTS

TCSC, UPFC,TCPST	اضافه‌نمودن خط یا ترانسفورماتور	کاهش اضافه بار	اضافه بار خط یا ترانسفورماتور	حدودحرارتی
SVC, TCSC	اضافه‌کردن راکتور سری			
UPFC, TCSC	اضافه کردن راکتور و خازن سری	محدودسازی بارگذاری خط	توزیع نامناسب بار درخطوط موازی	
UPFC, TCSC	اضافه‌نمودن خازن/راکتور	تنظیم راکتانس سری	تقسیم بار بین خطوط موازی	چرخش حلقوی توان
SVC,TCSC, UPFC,TCPST[1]	PST و خازن/راکتور سری	تغییر چیدمان شبکه یا اعمال حدود حرارتی	تقسیم بار پس از خطا	
UPFC,TCPST	PST	تنظیم زاویه فاز	معکوس‌سازی جهت توان	

[1]. Thyristor Control Phase Shifting Transformer

کاربردهای دینامیکی ادوات **FACTS**

منظور از کاربردهای دینامیکی، شرایطی است که در آنها از ادوات FACTS به منظور بهبود عملکرد دینامیکی سیستم قدرت در هنگام بروز اغتشاش یا پس از آن بهره گرفته می‌شود.

جدول (۷-٤) برخی از مهمترین کاربردهای دینامیکی ادوات FACTS را نشان می‌دهد.

۷-٤ : هزینه‌هاي سرمايه‌گذاري ادوات FACTS

هزینه‌های سرمایه‌گذاری ادوات FACTS را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد.

هزینه‌های تجهیزات ادوات FACTS و هزینه‌های زیربنایی.

جدول (۷-٤): کاربردهای دینامیکی ادوات FACTS

عنصر FACTS	راه حل متداول	عمل اصلاحی	نوع سیستم	نوع کاربرد
TCSC, TSSC, UPFC	سیستم تحریک با پاسخ سریع خازن سری	افزایش گشتاور سنکرون کننده	A, B, D	پایداری گذرا

, BESS،TCBR, SMES	مقاومت متوقف‌کننده، توربین با سرعت باز و بسته شدن دریچه سریع	جذب انرژی جنبشی	A,D	
TCPAR, UPFC, TCSC	HVDC	کنترل پخش بار دینامیکی	B, C, D	
SVC,TCSC,STATCOM	سیستم تحریک، پایدارساز سیستم قدرت (PSS)	میراکردن نوسانات 1 Hz	A	میراکنندگی
SVC, TCPAR, UPFC, TCSC, STATCOM	پایدارساز سیستم قدرت (PSS)	میرا کردن نوسانات فرکانس پایین	B, D	

ادامه جدول (۷-٤): کاربردهای دینامیکی ادوات FACTS

عنصر FACTS	راه حل متداول	عمل اصلاحی	نوع سیستم	نوع کاربرد
SVC,STATCOM,UPFC	ــــــــــ	پشتیبانی دینامیکی ولتاژ	A, B, D	کنترل ولتاژ پس از وقوع پیشامد

ادامه جدول (۷-٤) : کاربردهای دینامیکی ادوات FACTS

عنصر FACTS	راه حل متداول	عمل اصلاحی	نوع سیستم	نوع کاربرد
SVC, UPFC, TCSC	ــــــــــ	کنترل توان و تامین ولتاژ دینامیکی		

SVC,TCSC,UPFC,STATCOM	خطوط موازی	کاهش اثرات پیشامد	A, B, C, D	
SVC, STATCOM, UPFC	جبرانساز موازی	تأمین توان راکتیو	B, C, D	پایداری ولتاژ
UPFC, TCSC, STATCOM	کنترل‌های HVDC، LTC[1] و بازبست مجدد	عملیات کنترلی شبکه		
ــــــــ	سیستم تحریک پاسخ سریع	کنترل تولید		
ــــــــ	قطع بار در شرایط ولتاژ پایین برنامه‌های مدیریت طرف مصرف	کنترل بار		

A: (Remote Generation-Radial Lines)

B: (Interconnected Areas)

[1]. Load Tap Changer

C: (Tightly Meshed Network)

D: (Loosely Meshed Network)

هزینه‌های تجهیزات ادوات **FACTS**

هزینه تجهیزات ادوات FACTS علاوه بر مقادیر نامی کارکرد عنصر FACTS (ظرفیت نامی، ولتاژ نامی) به ملزومات خاص آن عنصر نیز بستگی دارد که در ادامه به آنها اشاره شده است:

- سیستم کنترل و حفاظت اضافی (پشتیبان) و یا حتی عناصر اصلی اضافه مانند راکتورها، خازن‌ها و ترانس‌ها
- شرایط زمین‌لرزه
- شرایط محدودکننده (مانند دمای محیط و سطح آلودگی)
- ارتباط با سیستم کنترل پست یا مرکز کنترل منطقه‌ای یا ملی

هزینه‌های زیربنایی ادوات **FACTS**

این هزینه‌ها به موقعیت پستی که ادوات FACTS باید در آنجا نصب گردد، بستگی دارد.

این هزینه‌ها به عنوان مثال شامل موارد زیر است.

- مالکیت زمین (اگر در پست موجود فضای کافی وجود نداشته باشد).
- تغییراتی در ساختار پست به عنوان مثال اگر سوییچ‌گیر ولتاژ بالای جدید نیاز باشد.
- ساخت اتاق برای تجهیزاتی که باید درون اتاق نصب گردند (تجهیزات کنترلی، حفاظتی و غیره)
- عملیات ساختمانی آماده‌سازی پست مانند فونداسیون و غیره.
- اتصال به ارتباطات موجود.

در شکل (۲۳-٤) و (۲٤-٤) برای مقادیر نامی نمونه عناصر FACTS هزینه آن‌ها نشان داده شده است. قسمت پایین هر کدام از نواحی قیمت هزینه‌های تجهیزات FACTS را نشان می‌دهد و قسمت بالای هر ناحیه کل هزینه سرمایه‌گذاری را نشان می‌دهد که هزینه‌های زیربنایی را نیزدر برمی‌گیرد. برای مقادیر کارکرد نامی خیلی پایین، هزینه‌ها می‌تواند خیلی بالاتر و برای مقادیر کارکرد نامی خیلی بالا، هزینه‌ها می‌تواند خیلی پایین‌تر از مقدار نشان داده شده باشد.

هزینه کل نشان داده شده جدای از عوارض و مالیات است و در نتیجه ممکن است به دلیل تاثیر این فاکتورها هزینه از ٪۱۰- تا ٪۳۰+ تغییر کند. با درنظرگرفتن مالیات و عوارض که

بین کشورهای مختلف دارای تفاوت‌های فاحشی است کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری ادوات FACTS ممکن است حتی بیشتر از این نیز تغییر کند.

شکل (۲۵-٤) بیان دیگری از هزینه‌های سرمایه‌گذاری ادوات FACTS است. قسمت پایین معادل حد بالا در شکل‌های(۲۳-٤) و (۲٤-٤) است و قسمت خط‌چین معادل حدپایین است. با منطبق کردن توابع درجه ۲ بر منحنی‌های شکل (۲۵-٤) (قسمت پررنگ) توابع هزینه برای SVC، TCSC و UPFC بدست می‌آید که در ادامه به توضیح آن‌ها می‌پردازیم.

$$C_{UPFC} = ۰/۰۰۰۳S^{۲} - ۰/۲۶۹۱S + ۱۸۸/۲۲ \quad (US\$/kVAr)$$

$$C_{TCSC} = ۰/۰۰۱۵S^{۲} - ۰/۷۱۳S + ۱۵۳/۷۵ \quad (US\$/kVAr)$$

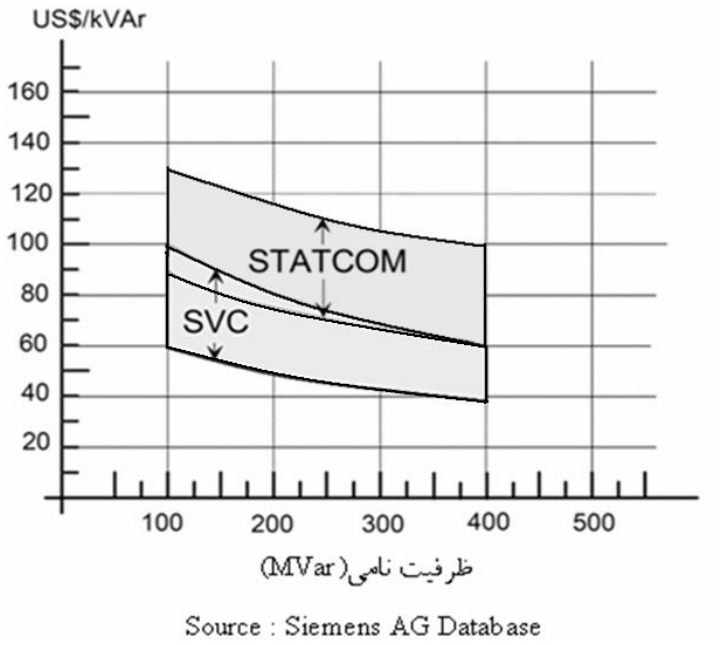
$$C_{SVC} = ۰/۰۰۰۳S^{۲} - ۰/۳۰۵S + ۱۲۷/۳۸ \quad (US\$/kVAr)$$

در روابط فوق C_{UPFC}، C_{TCSC} و C_{SVC} برحسب US$/kVAr هستند و S نیز حد کارکرد عنصر FACTS برحسب MVar است.

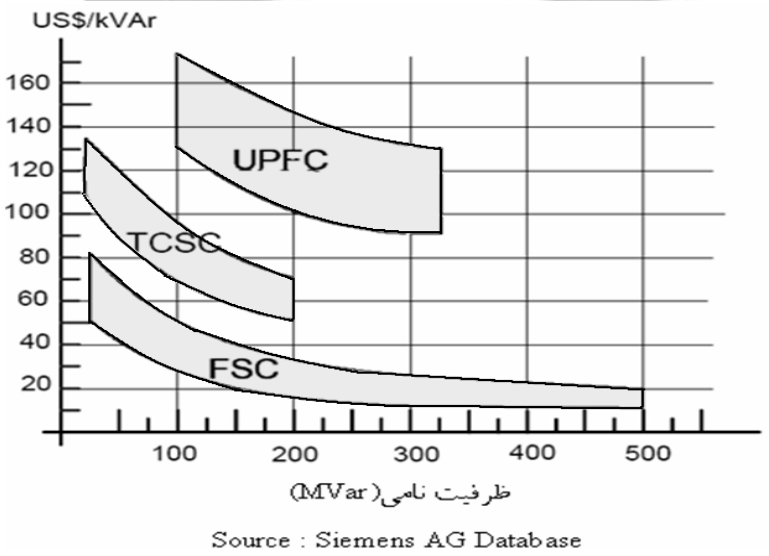
هزینه PST بیشتر به ولتاژ و جریان نامی کارکرد مدار آن وابسته است بنابراین هنگامی که PST نصب شد هزینه ثابت است و تابع هزینه می‌تواند به صورت زیر بیان گردد.

$$C_{PST} = d.P_{max} + IC \ (US\$)$$

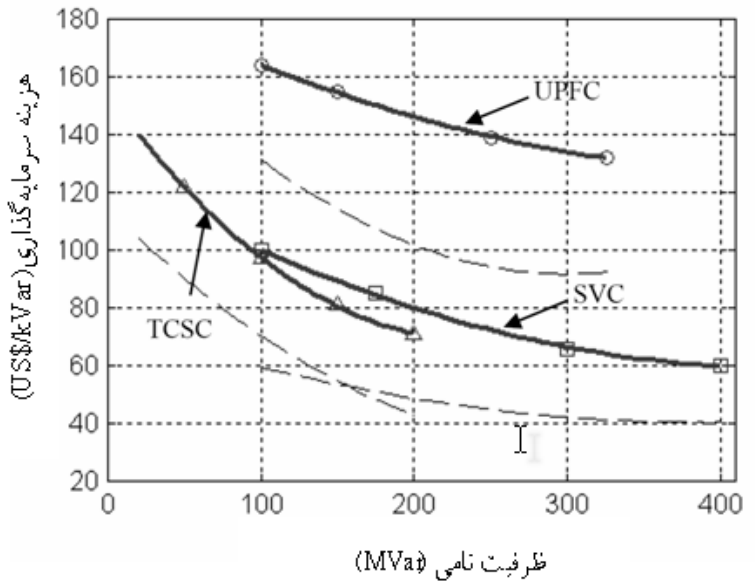
که d مقدار ثابت مثبتی است که هزینه سرمایه‌گذاری را بیان می‌کند و IC هزینه نصب می‌باشد. P_{max} حد حرارتی خط انتقالی است که PST در آن نصب می‌گردد.



شکل (۲۳-٤): هزینه‌های سرمایه‌گذاری نمونه برای SVC و STATCOM



شکل (۲٤-٤): هزینه‌های سرمایه‌گذاری نمونه برای TCSC، UPFC و FSC



شکل (۲۵-٤): تابع هزینه ادوات FACTS

٤-۸ : دورنمایی از آینده ادوات FACTS

پیشرفت این ادوات در آینده شامل ترکیب عناصر مختلف FACTS موجود به منظور توسعه دامنه عملکرد آنها خواهد بود، نظیر ترکیب STATCOM و TCSC. بعلاوه سیستم-های کنترل پیچیده و مفصلتری به منظور بهبود عملکرد این ادوات توسعه خواهند یافت. پیشرفت در زمینه تکنولوژی نیمه‌هادی با ظرفیت هدایت جریان و ولتاژهای شکست بالا می‌تواند قیمت این ادوات را به خوبی کاهش دهد و دامنه عملکرد آنها را توسعه دهد سرانجام پیشرفت در زمینه توسعه تکنولوژی ابررساناها راهی به سوی توسعه ادواتی نظیر SCCL[۱] و SMES[۱]خواهد بود.

۱. Super Conducting Current Limitter

در سراسر جهان، تولید و انتقال انرژی الکتریکی به صورت اقتصادی و سازگار با محیط زیست به عنوان آینده‌ای روشن بوده و FACTS به عنوان راه گشای این آینده مطلوب می‌باشد.

WikiPower.ir

[1] Super Conducting Magnetic Energy Storage.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

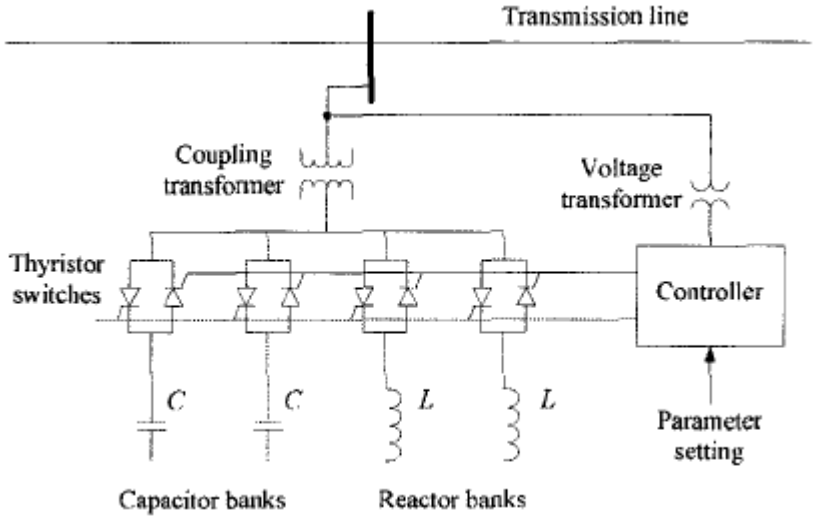
فصل دوم :

شبیه سازی انواع ادوات FACTS

WikiPower.ir

۱- شبیه سازی SVC

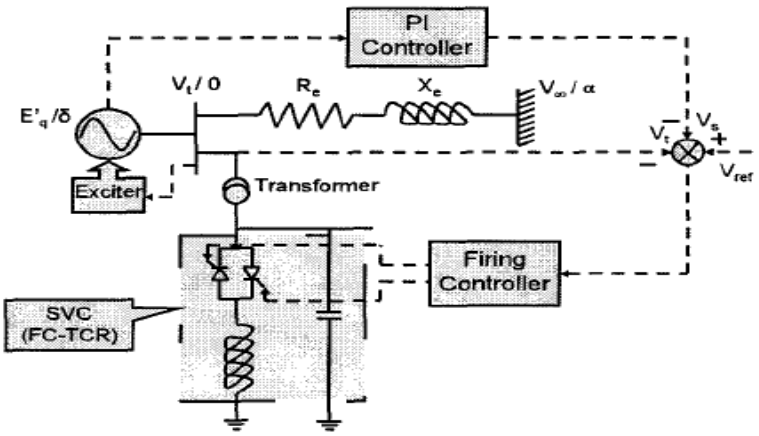
SVC یک یک جبرانساز توان راکتیو موازی است که شامل TSC و TCR همان گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است می باشد. معادلات پایداری و کنترل سیستم قدرت بوسیله مدل های خطی شده سیستم قدرت انجام می گیرد.



شکل (۱) ساختار SVC

شکل (۲) یک مدل تک ماشین به شین بی نهایت را نشان می دهد. این سیستم می تواند بوسیله معادلات دیفرانسیل غیرخطی که از مدل خطی هفرون-فیلیپس که در زیر آورده شده است توصیف شود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۲) مدل تک ماسین به شین بی نهایت با SVC

$$\dot{\delta} = \omega_0 \Delta\omega$$

$$\Delta\dot{\omega} = \frac{(P_m - P_e - D\Delta\omega)}{2H}$$

$$\dot{E}_q{}' = \frac{(-E_q + E_{qe})}{T_{do}{}'}$$

$$\dot{E}_{qe} = K_A \frac{(V_{to} - V_t)}{1 + sT_A}$$

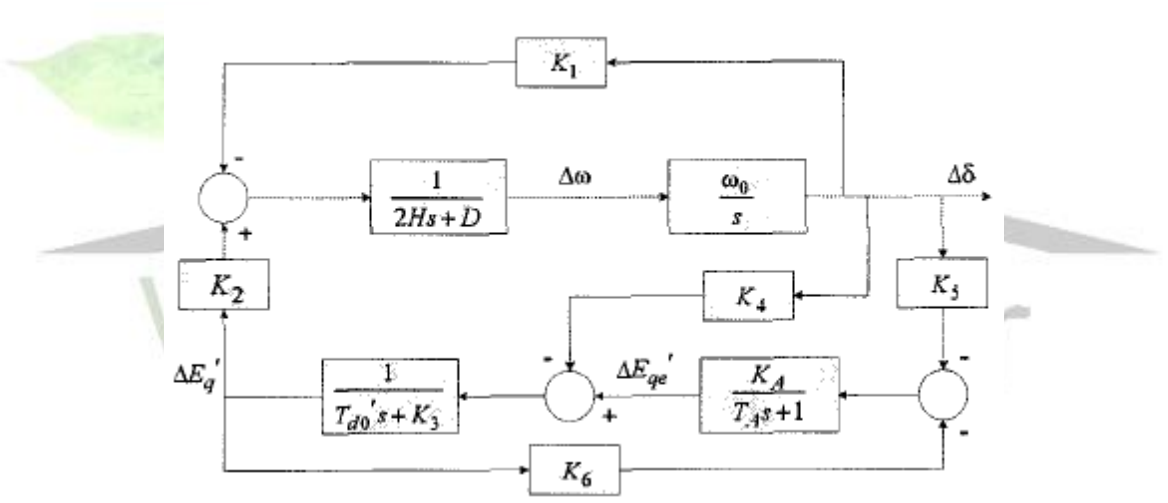
www.iPower.ir

$$E_q = \frac{X_{d\Sigma} E_q^{'}}{X_{d\Sigma}^{'}} - \frac{(X_d - X_d^{'}) V_b \cos\delta}{C X_{d\Sigma}^{'}}$$

$$V_{td} = \frac{X_q V_b \sin\delta}{C X_{q\Sigma}}$$

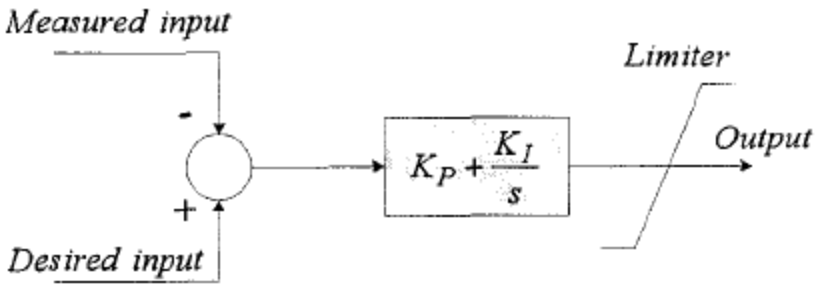
$$V_{tq} = \frac{X_L E_q^{'}}{X_{d\Sigma}^{'}} + \frac{V_b X_d^{'} \cos\delta}{C X_{d\Sigma}^{'}}$$

با خطی سازی معادلات بالا در شرایط بهره برداری، مدل خطی شده هفرون-فیلیپس سسیستم با SVC را می توان از شکل (۳) به دست آورد.



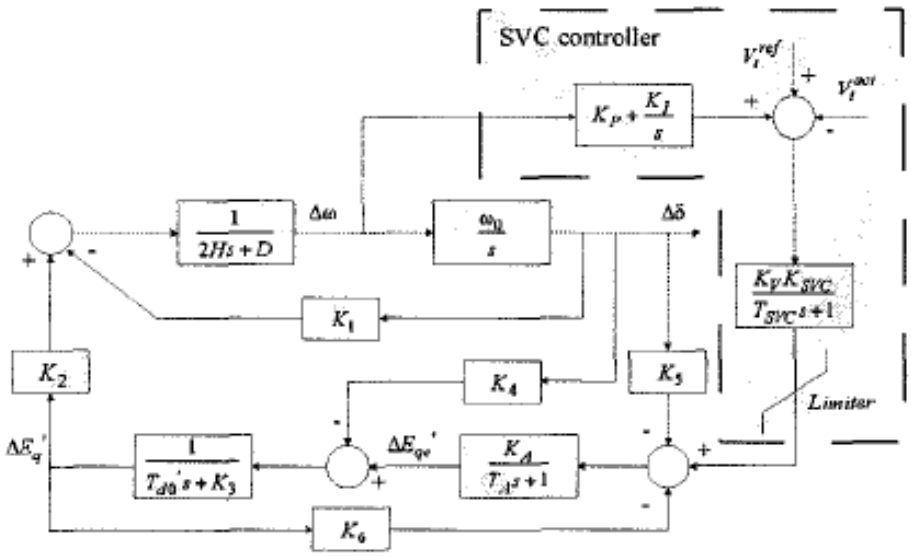
شکل (۳) بلوک دیاگرام کنترل تک ماشینبه شین بی نهایت بدون SVC

هنگامی که SVC به سیستم تک ماشین به شین بی نهایت متصل می شود ، سیستم کنترلی آن در ابتدا تعیین می شود. با وجوداین که تعداد زیادی الگوی کنترل موثر برای عملکرد این جبرانساز وجود دارد فقط یک کنترلر PI برای آن انتخاب می شود. ساختار کنترلر PI در شکل زیر نشان داده شده است که دارای دو پارامتر K_p, K_I است که باید طوری تنظیم شوند که نوسانات ولتاژ دامنه هم در مورد دامنه و هم فرکانس مینیمم شود.



شکل (۴) ساختار کنترلر PI

با ترکیب کنترلر PI برای کنترل عملکرد SVC، بلوک دیاگرام کنترل سیستم تک ماشین به شین بی نهایت در شکل (۵) نشان داده شده است.

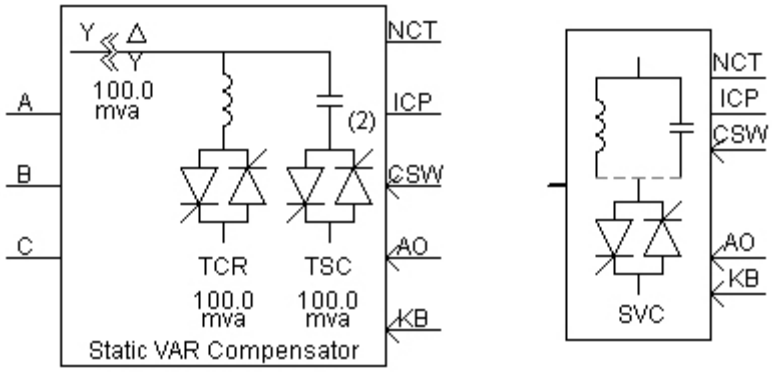


شکل (۵) سیتم تک ماشین به شین بی نهایت با svc,PI

هدف از کنترل SVC یافتن مقادیر K_I, K_p می باشد. روش های مختلفی برای دست یافتن به تنظیم پارامترهای کنترل وجود دارد. الگوریتم ژنتیک از معروفترین روش هاست واز آن برای طراحی کنترلر در شکل های متفاوت استفاده می شود.

Svc یک سوسپتانس موازی قابل تنظیم است که هیچ جـز متحـرک نـدارد و کـاربرد آن در تثبیت ولتاژ گذرا و ماندگار ، بهبود پایداری گذرا و دینامیک ، کاهش فلیکر ، بهبـود ضـریب توان و متعادل کردن بار است.

برای شبیه سازی svc باید بتوان ورودی های بلوک svc را تهیه و به آن اعمال نمود:



که در این بلوک داریم:

NCT : تعداد مراحل ورود خازن

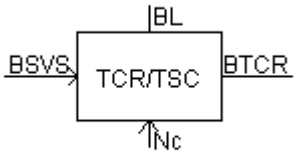
CSW : سیگنال سوییچ خازن که سه مقدار 1-,1, 0 می تواند باشد.

AO : فرمان زاویه آتش

KB : بلوک کردن یا دبلوک کردن

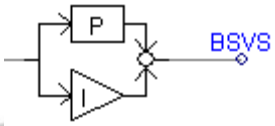
برای فرمان زاویه آتش AO باید از رابطه $BTCR \equiv \frac{\sigma - Sin\sigma}{\pi Xl}$ استفاده می کنیم.

BTCR از بلوک زیر قابل دستیابی است.



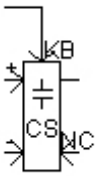
BSVC سوسپتانس SVC است و BL سوسپتانس TCR و Nc تعداد مراحل ورود خازن و BTCR زاویه آتش مورد نیاز است.

برای دستیابی به این بلوک باید بتوان BSVS را به دست آورد. برای این منظور از خروجی کنترلر PI بهره می گیریم.



ورودی این کنترلر اختلاف ولتاژ اندازه گیری شده در سر SVC ، میزان ولتاژ محاسبه شده که از فیلتر های موجود عبور کرده و با Vref مقایسه شده است را در نظر می گیریم. این ولتاژ در حقیقت همان جریان راکتیوی است که SVC تولید می کند که با ضرب آن در مقدار ۳ درصد (راکتانس مدار از دید SVC) به دست می آید.این میزان جریان از طریق رابطه $I \equiv \frac{Q}{V}$ قابل دستیابی است.

برای فرمان CSW از بلوکی استفاده می کنیم که فرمان منطقی به SVC اعمال می کند.



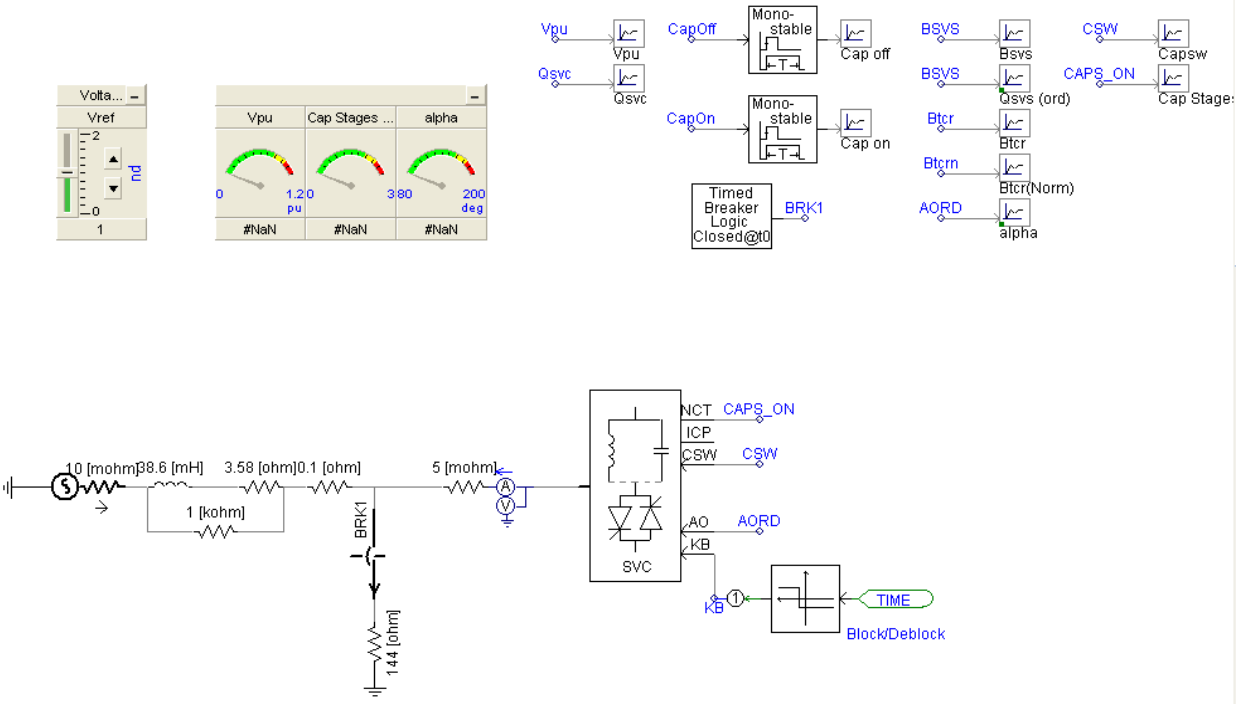
+ : افزایش خازن های موجود

- : کاهش خازن های موجود

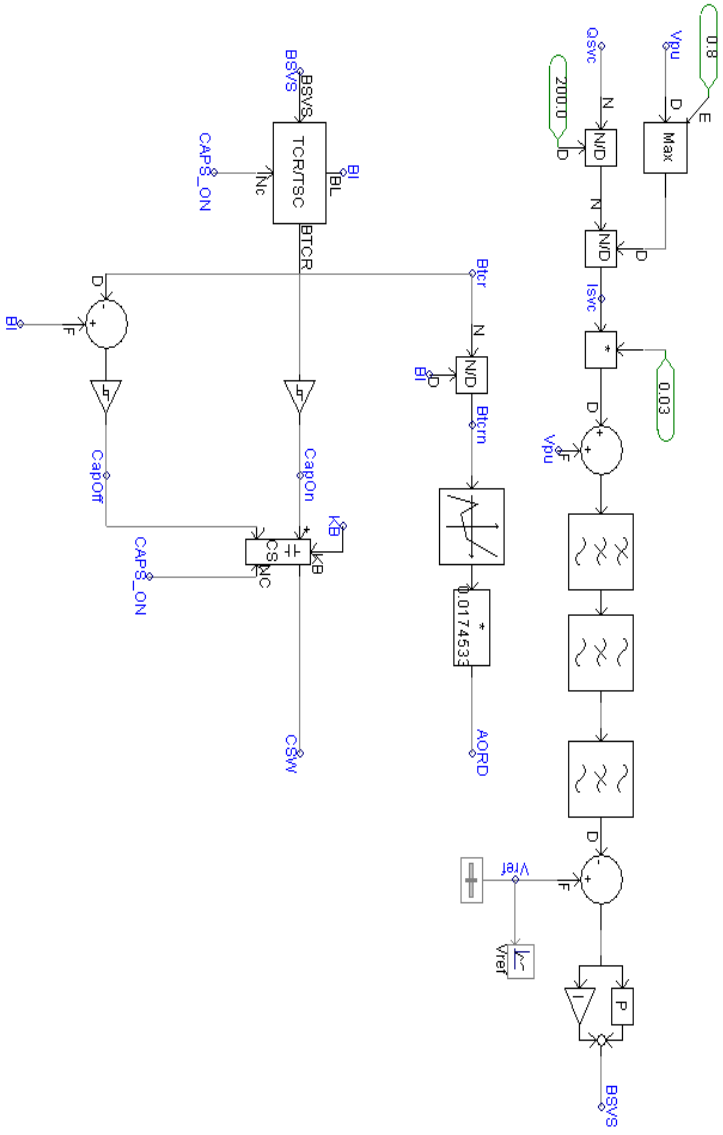
KB : قابل دستیابی از KB مربوط به svc

NC : قابل دستیابی از بلوک SVC

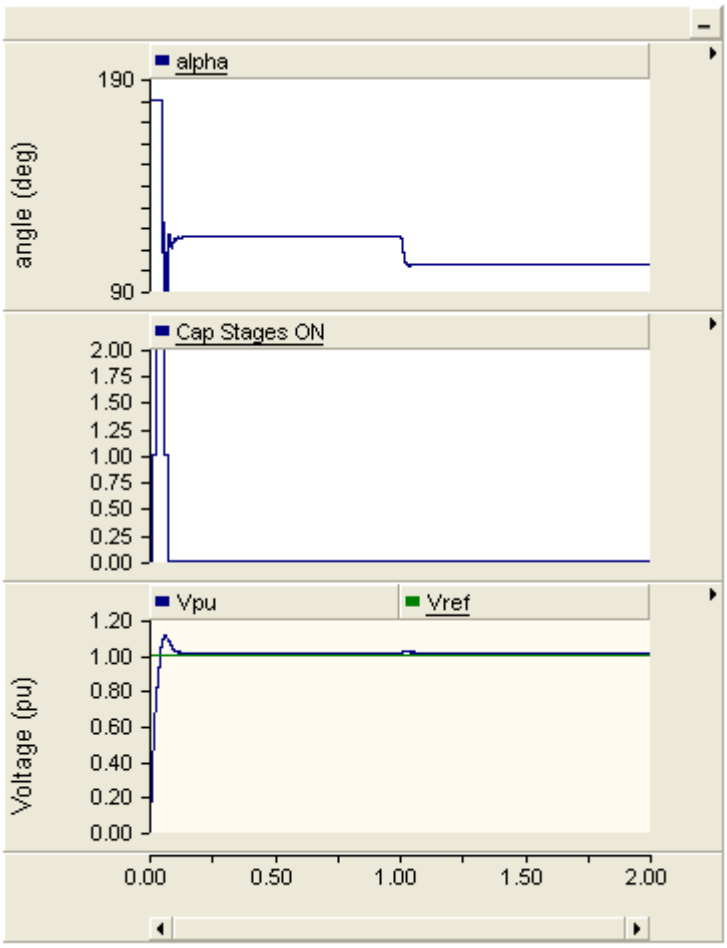
مدار شبیه سازی و نتایج حاصل از آن در شکل های (۶)،(۷)،(۸) نشان داده شده است.



شکل (۶) مدار ش



بیه سازی مربوط به SVC



شکل (۷) مدار کنترل SVC

WWW.WIKIPOWER.IR

شکل(۸) نتایج حاصل از شبیه سازی SVC

۲- شبیه سازی STATCOM

ساختار اساسی یک STATCOM با کنترل ولتاژ بر پایـه PWM

در شکل (۹) نشان داده شده است. حذف حلقه کنترل ولتـاژ DC

در این شکل بلوک دیاگرام اساسی یک کنترلر با روش کنترل فاز معمولی را نتیجه می دهد.

شکل (۹) بلوک دیاگرام با کنترل ولتاژ PWM

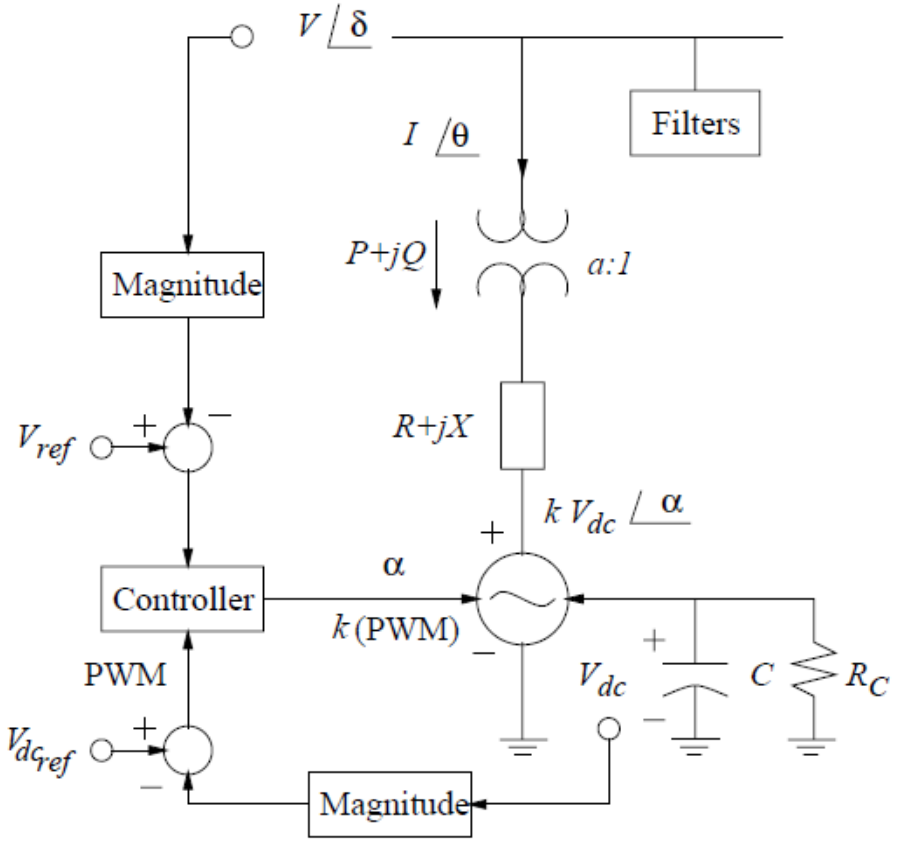
مدل STATCOM که در اینجا ارائه شده است بر پایه معادله تعادل توان است که به طور اساسی معرف تعادل بین توان ac کنترلر(P) و توان DC (P_{dc}) تحت شرایط متعادل در فرکانس اصلی است.

$$P = P_{dc} + P_{loss}$$

برای مدل هایی که دقیق هستند این مهم است که تلفات کنترلر در نظر گرفته شود. (P_{loss})

کنترل PWM یک عامل کاربردی برای کنترلر هایی است که بر پایه VSC می باشند به خاطر این که با پیشرفت های اخیر و بوجود آمدن GTO دیگر تلفات سوئیچینگ بالا در آن ها وجود ندارد.

برای مدل گذرا فرض کنید ولتاژ ها متعادل باشند، کنترلر به طور دقیق برای مطالعات پایداری گذرا توسط شکل (۱۰) مدل می شود.



شکل (۱۰) مدل پایداری گذرا STATCOM با کنترل ولتاژ PWM

معادلات دیفرانسیل مربوط به این مدل را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{\alpha} \\ \dot{m} \end{bmatrix} = f_c(x_c, \alpha, m, V, V_{dc}, V_{ref}, V_{dc_{ref}})$$

$$\dot{V}_{dc} = \frac{V\ I}{C\ V_{dc}} \cos(\delta - \theta) - \frac{G_C}{C}\ V_{dc} - \frac{R}{C}\ \frac{I^2}{V_{dc}}$$

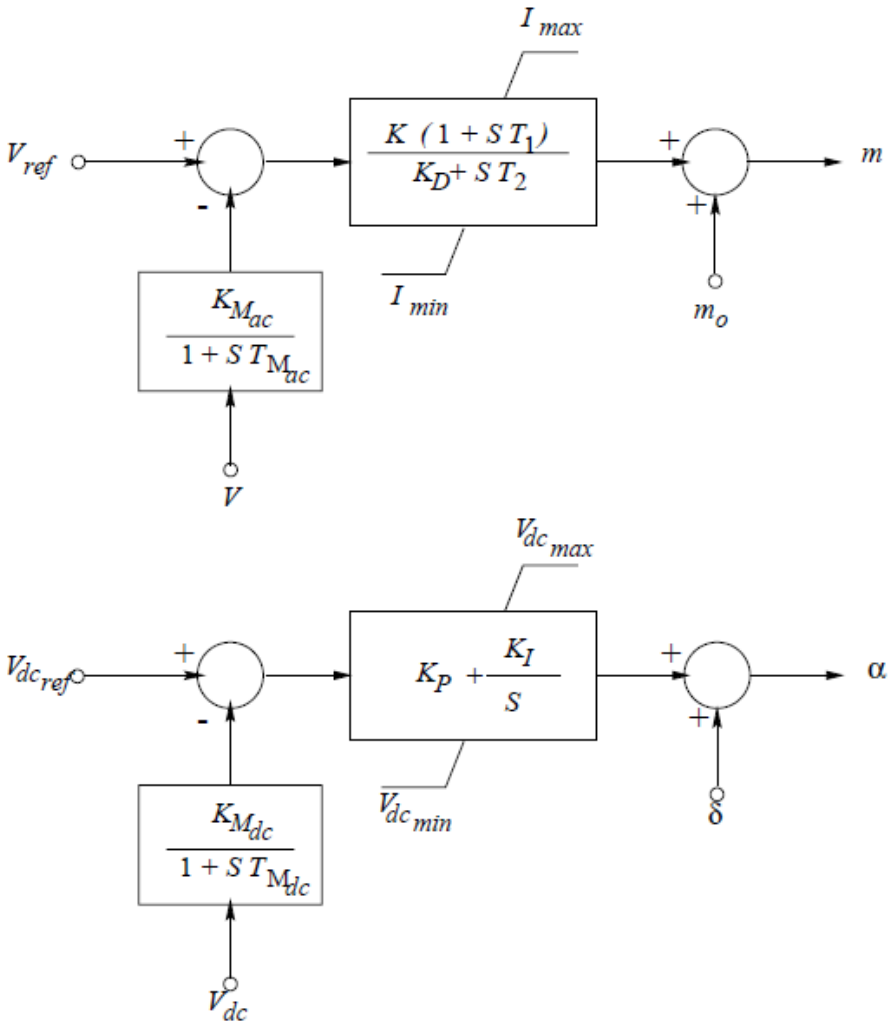
$$0 = \begin{bmatrix} P - V\ I\ \cos(\delta - \theta) \\ \\ Q - V\ I\ \sin(\delta - \theta) \\ \\ P - V^2\ G + k\ V_{dc}\ V\ G\ \cos(\delta - \alpha) \\ +k\ V_{dc}\ V\ B\ \sin(\delta - \alpha) \\ \\ Q + V^2\ B - k\ V_{dc}\ V\ B\ \cos(\delta - \alpha) \\ +k\ V_{dc}\ V\ G\ \sin(\delta - \alpha) \end{bmatrix}$$

ادمیتانس $(R + JX)^{-1} = G + JB$ به عنوان نشان دهنده امپدانس ترانسفورمر و هر فیلتر سری ac است. G_c برای مدل کردن اینرسی سوئیچینگ کانورتر که به علت سوئیچ های الکترونیکی

ومدارات آن ایجاد می شود که تاثیر مستقیم روی دینامیک ولتاژ خازن می گذارد استفاده می شود.

ثابت به طور مستقیم با شاخص مدولاسیون (m) متناسب است. متغیر های x_c و $f_c(0)$ در معادله بالا به ترتیب متغیر های سیستم کنترل داخلی و معادلات است و از اینرو وابستگی زیادی به PWM یا روش کنترل فاز استفاده شده در کنترلر دارد. در کنترلر ولتاژ ساده نشان داده شده در شکل (۱۱) ، متغیر ها و معادلات دیفرانسیل با بلوک های کنترلی مختلفی به طور مستقیم رابطه دارند. می توان مشاهده کرد که در این کنترلر PWM ، دامنه ولتاژ باس ac از طریق شاخص مدولاسیون m کنترل می شود و این تاثیر مستقیم روی دامنه ولتاژ VSC می گذارد. اگرچه زاویه فاز α که به طور اساسی شارش توان اکتیو (p) در کنترلر را مشخص می کند و شارژ و دشارژ خازن برای کنترل مستقیم دامنه ولتاژ DC استفاده می شود.

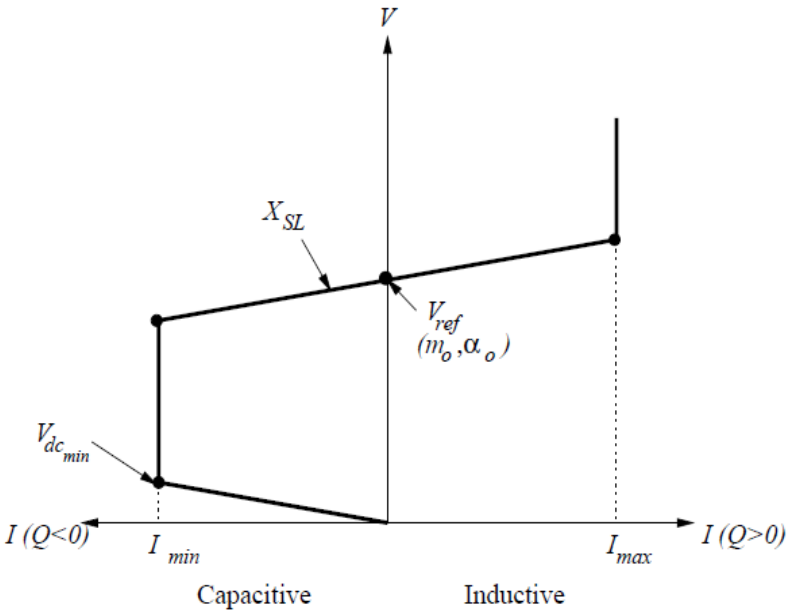
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱۱) کنترل ولتاژ PWM یک STATCOM

همچنین توجه کنید که کنترلر ها یک بایاس دارند که بـا مقـدار حالت دائمی شاخص مدولاسیون m_0 بـرای کنترلـر دامنـه ولتـاژ رابطه دارند و با زاویه فاز خروجی STATCOM برای کنترلر ولتاژ DC نیز رابطه دارند.

مدل حالت دائمی را می توان به راحتی از معادله قبل با قرار دادن معادلات دیفرانسیل متناظر با معادلات حالت دائمی ولتاژ DC و خصوصیات کنترل ولتاژ STATCOM به دست آورد.



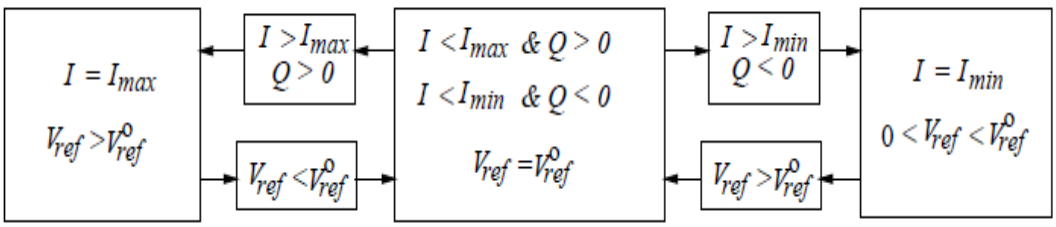
WikiPower.ir

بنابر این معادلات حالت دائمی برای کنترلر PWM در اولین معادله می باشند، علامت مثبت هنگامی استفاده می شود که وسیله در مد خازنی کار کند و علامت منفی برای حالتی است که وسیله در مد سلفی کار می کند.

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

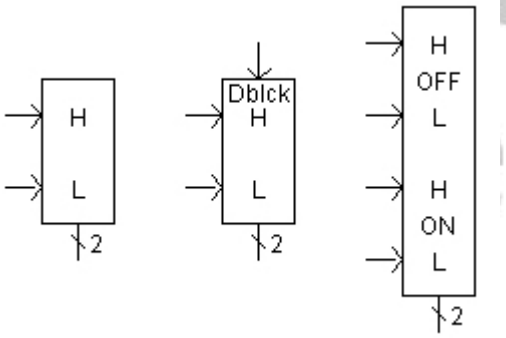
$$0 = \begin{bmatrix} V - V_{ref} \pm X_{SL} I \\ V_{dc} - V_{dc_{ref}} \\ P - G_C\, V_{dc}^2 - R\, I^2 \\ P - V\, I\, \cos(\delta - \theta) \\ Q - V\, I\, \sin(\delta - \theta) \\ P - V^2\, G + k\, V_{dc}\, V\, G\, \cos(\delta - \alpha) \\ +k\, V_{dc}\, V\, B\, \sin(\delta - \alpha) \\ Q + V^2\, B - k\, V_{dc}\, V\, B\, \cos(\delta - \alpha) \\ +k\, V_{dc}\, V\, G\, \sin(\delta - \alpha) \end{bmatrix}$$

مشاهده می شود که droop کنترلر X_{sl} به طور مستقیم نشان دهنده منحنی V-I، STATCOM و محدودیتهای کنترلر می باشد. محدودیت های کنترل در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

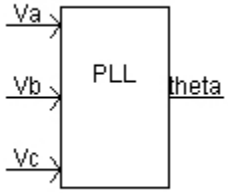


شکل (۱۲) محدودیتهای کنترلSTATCOM

برای شبیه سازی باید بتوان GTO ها یا تریستورهای موجود را به نحو مورد نیاز آتش کرد. دارای ۶ عدد تریستور هستیم . PWM دارای این خاصیت است که ۲ موج سینوسی و مثلثی دارد. موج مثلثی به عنوان موج کریر است که فرکانس آن خیلی بیشتراز موج سینوسی است. برای این که بتوان PWM را اعمال کرد به این صورت عمل می کنیم که مقایسه ای بین ۲ موج انجام می گیرد اگر میزان موج سینوسی بیش از موج مثلثی باشد دستور ON و اگر موج مثلثی بیش از موج سینوسی باشد دستور قطع صادر می شود. برای این منظور از زاویه ها بهره می گیریم.



باید زاویه ای برای آتش نیز از طریق محاسبه به دست آوریم. این زاویه از طریق مدار کنترلی به همراه یک فیلتر lead-lag و کنترلر PI . خروجی کنترلر PI زاویه بر حسب رادیان است که میتوان آن را به درجه تبدیل کرد.



حال با کسر ۲ مجموعه به دست آمده می توان ۶ زاویه به دست آورد.

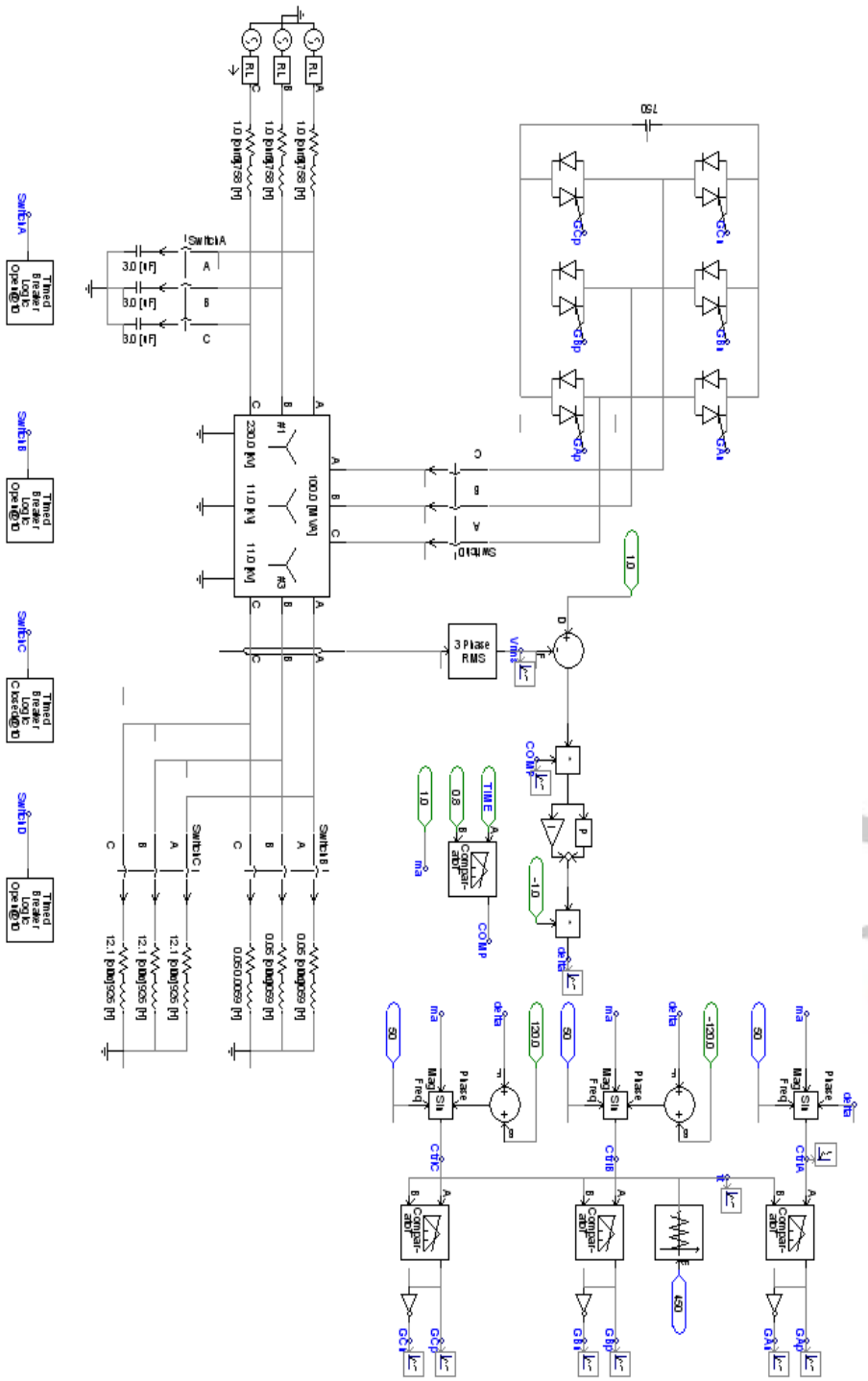
برای Trg on /off موج مثلثی را دقیقا با بلوک PLL و ۶ زاویه آتش به دست آمده می سازند. ابتدا این زوایا را در فرکانس کریر ۳۳ ضرب وبا یک مدل آن را در طول ۳۶۰ درجه ایجاد می کنیم.

مدار شبیه سازی و نتایج حاصل از شبیه سازی در شکل های (۱۳)،(۱۴)،(۱۵) نشان داده شده است.

WikiPower.ir

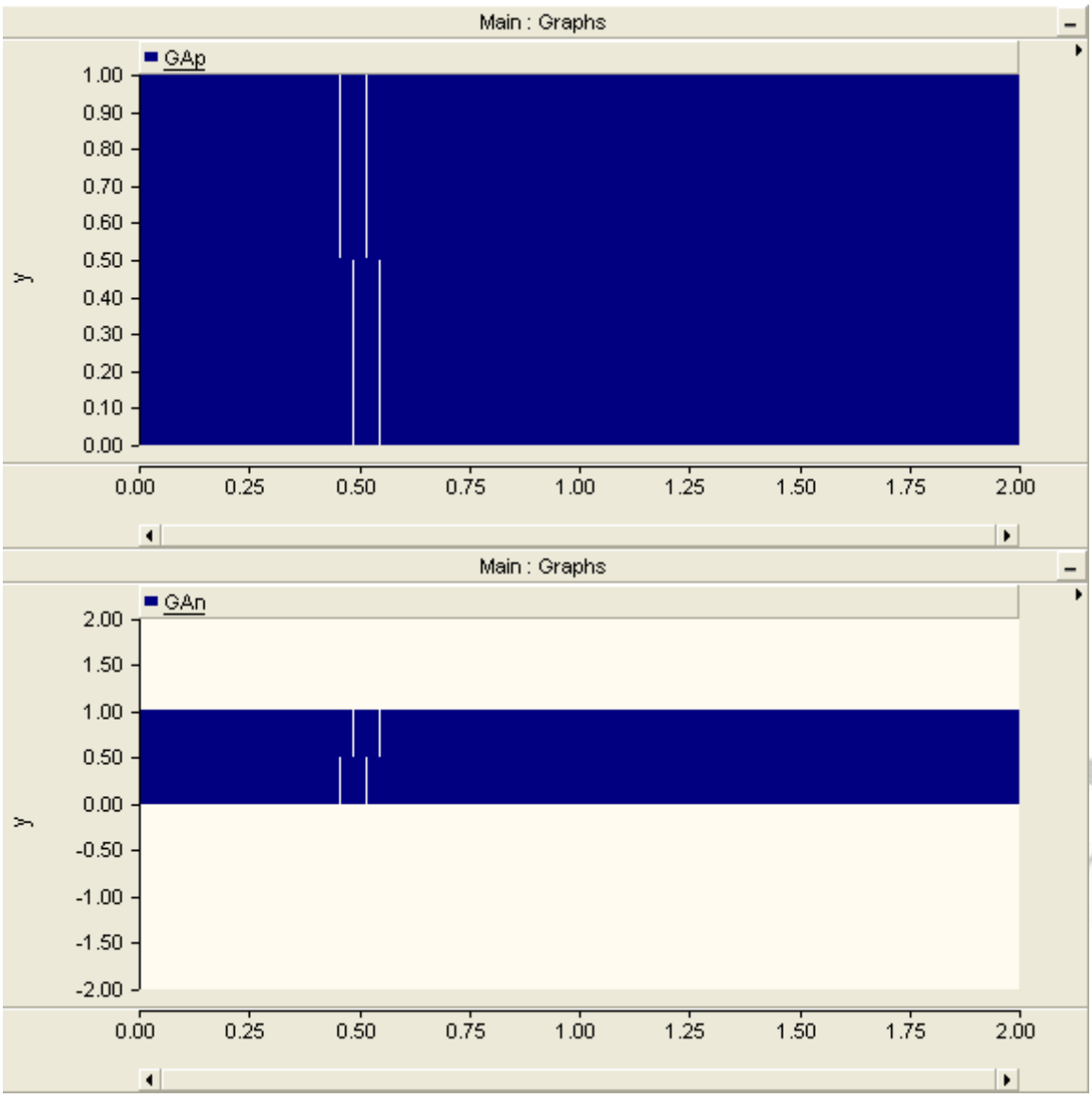
www.wikipower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

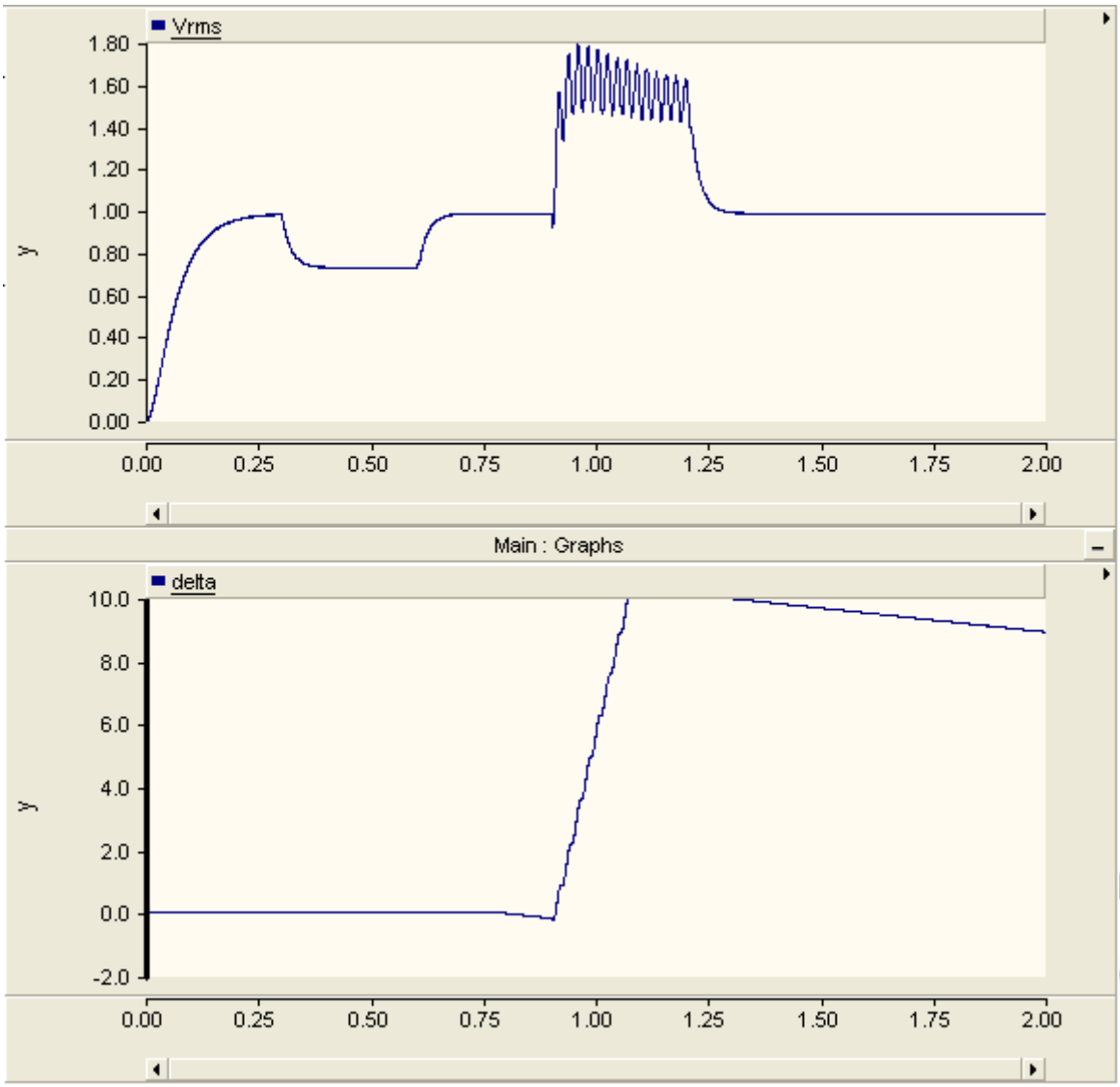


برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل (۱۳) مدار شبیه سازی STATCOM



شکل (۱۴) نتایج به دست از شبیه سازی STATCOM

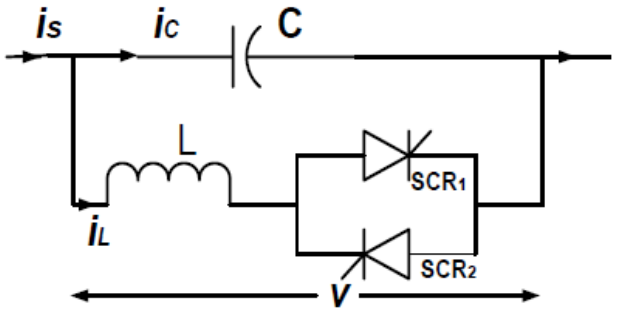


شکل (۱۵) نتایج به دست آمده از شبیه سازی STATCOM

۳- شبیه سازی TCSC

این جبرانساز یک خازن سری متغیر است و در واقع ترکیبی از یک خازن ثابت با یک TCR می باشد. این المان که به صورت سری با خط است، جریان عبوری از خط به طور کامل از آن عبور

کرده ولی ولتاژ آن غیر سینوسی است. بسته به این که سلف آن به طور کامل در مدار باشد و یا تنها قسمتی ازسلف در مدار باشد راکتانس سری خط تغییرکرده و توان عبوری را می توان با تغییر زاویه آتش تریستور کنترل نمود. شکل یک TCSC در زیر نشان داده شده است.



شکل (۱۶) نمای کلی یک TCSC

فرض کنید که همه جریانی که از TCSC عبور می کند سینوسی باشد، راکتانس معادل در فرکانس اصلی می تواند به عنوان یک راکتانس متغیر نشان داده شود. X_{tcsc}

یک رابطه بین زاویه آتش α و راکتانس X_{tcsc} وجود دارد. این رابطه را می توان با معادله زیر توصیف کرد:

$$X_{TCSC}(\alpha) = X_C - \frac{X_C^2}{(X_C - X_P)}\frac{\sigma + \sin\sigma}{\pi} + \frac{4X_C^2}{(X_C - X_P)}\frac{\cos^2(\sigma/2)}{(k^2-1)}\frac{(k\tan(k\sigma/2) - \tan(\sigma/2))}{\pi}$$

که در آن :

X_c راکتانس نامی خازن ثابت C

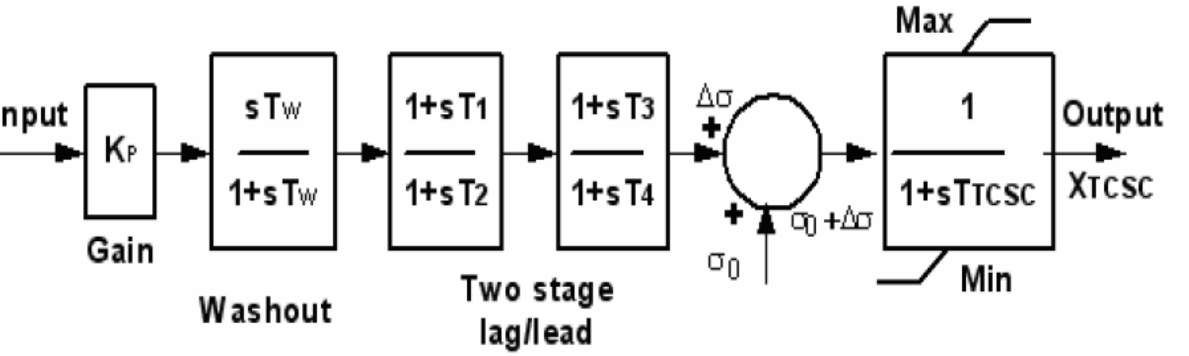
X_p راکتانس سلفی که به طور موازی با C قرار دارد.

$K = \sqrt{\frac{X_C}{X_P}}$ نسبت جبران سازی

$\sigma = 2(\pi - \alpha)$ زاویه هدایت کنترلرTCSC

ساختار کنترلر TCSC

به طور معمول ساختار lead-lag بـرای کنترلـر TCSC اسـتفاده می شود. ساختار کنترلر TCSC در شکل (۱۷) نشـان داده شـده است که شامل یک بلوک بـا بهـره K_p، یـک بلـوک washout سیگنال و دو مرحله بلوک جبرانسازی فاز است.



شکل(۱۷) ساختار کنترلر TCSC

بلوک جبران ساز فاز خصوصیات پیش فازی مناسب برای جبـران پس فازی بین سیگنال ورودی و خروجی را فراهم می کند. بلوک washout سیگنال ، به عنوان یک فیلتر بالا گذر با ثابت زمـانی

T_w می باشد. σ_0 زاویه اولیه است که به عنوان مطلوب بوسیله حلقه کنترل شارش توان است.

تابع تبدیل کنترلر TCSC برابر است با:

$$u = K_P\left(\frac{sT_w}{1+sT_w}\right)\left(\frac{1+sT_1}{1+sT_2}\right)\left(\frac{1+sT_3}{1+sT_4}\right)y$$

که U وY به ترتیب سیگنال خروجی کنترلرTCSC و سیگنال ورودی کنترلرTCSC می باشند.

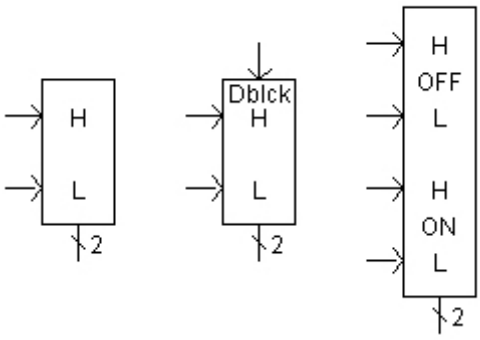
K_p گین پایدار ساز و T_w ثابت زمانی washout است. در این ساختار ، T_w, T_2, T_4 معمولا از قبل تعیین می شوند.

در این مدار برای کنترل TCSC می توان از بلوک های مختلفی بهره گرفت که از آن جمله بلوکی برای تعریف پالس آتش تریستور ها به نام Interpolated Firing Pulses اشاره کرد.

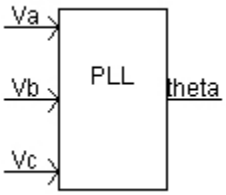
در این بلوک فرمان آتش و زمان آن تعریف می گردد. دارای ۲ خروجی مختلف است:

۱- خروجی پالس گیت (دارای دو حالت صفر و یک)

۲- خروجی زمان

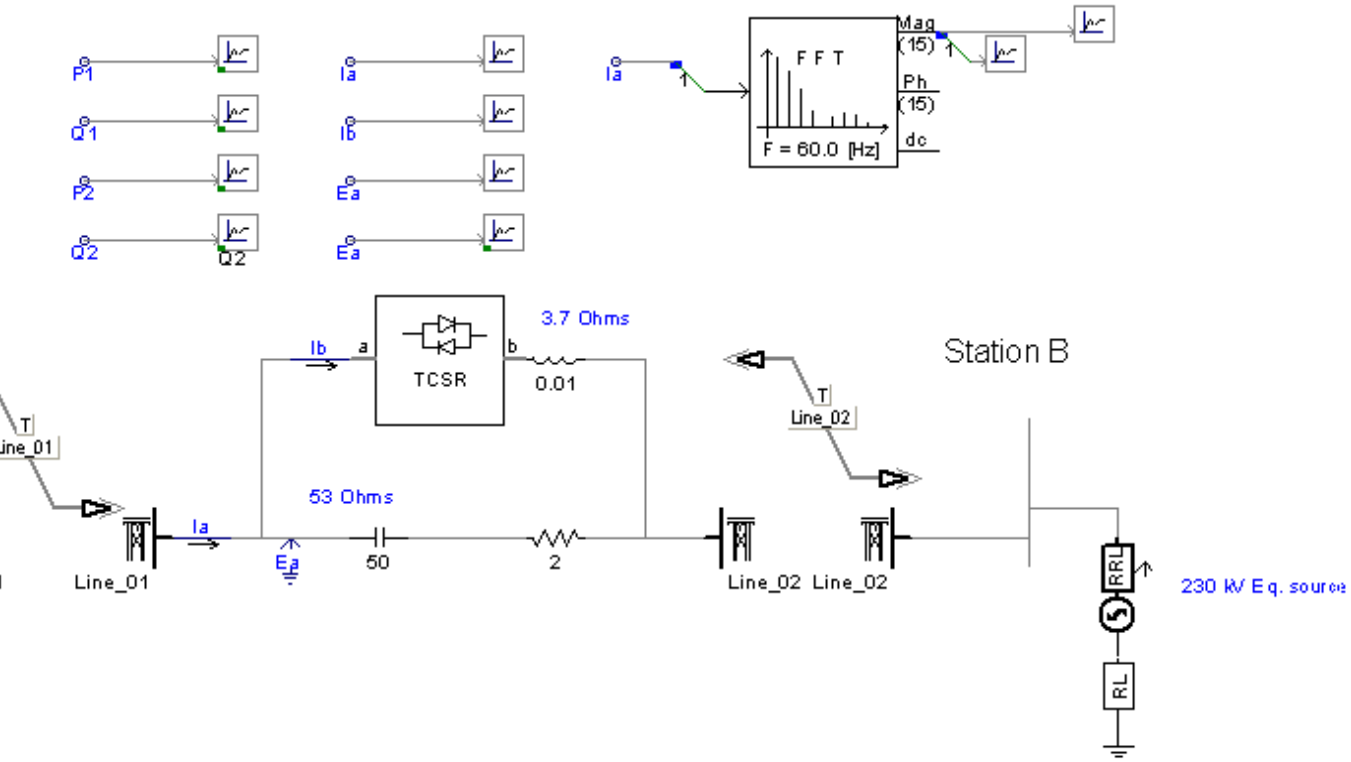


بلوک دیگری که در این زمینه می تواند مفید باشد، PLL است که در حالت کلی برای تعیین زاویه بین سیگنال های ورودی است. می توان برای تریستور هایی که در سیکل های بعد عمل می کنند از یک جمع کننده که خروجی را با یک میزان ۱۸۰ درجه ای شیفت می دهند بهره گرفت.



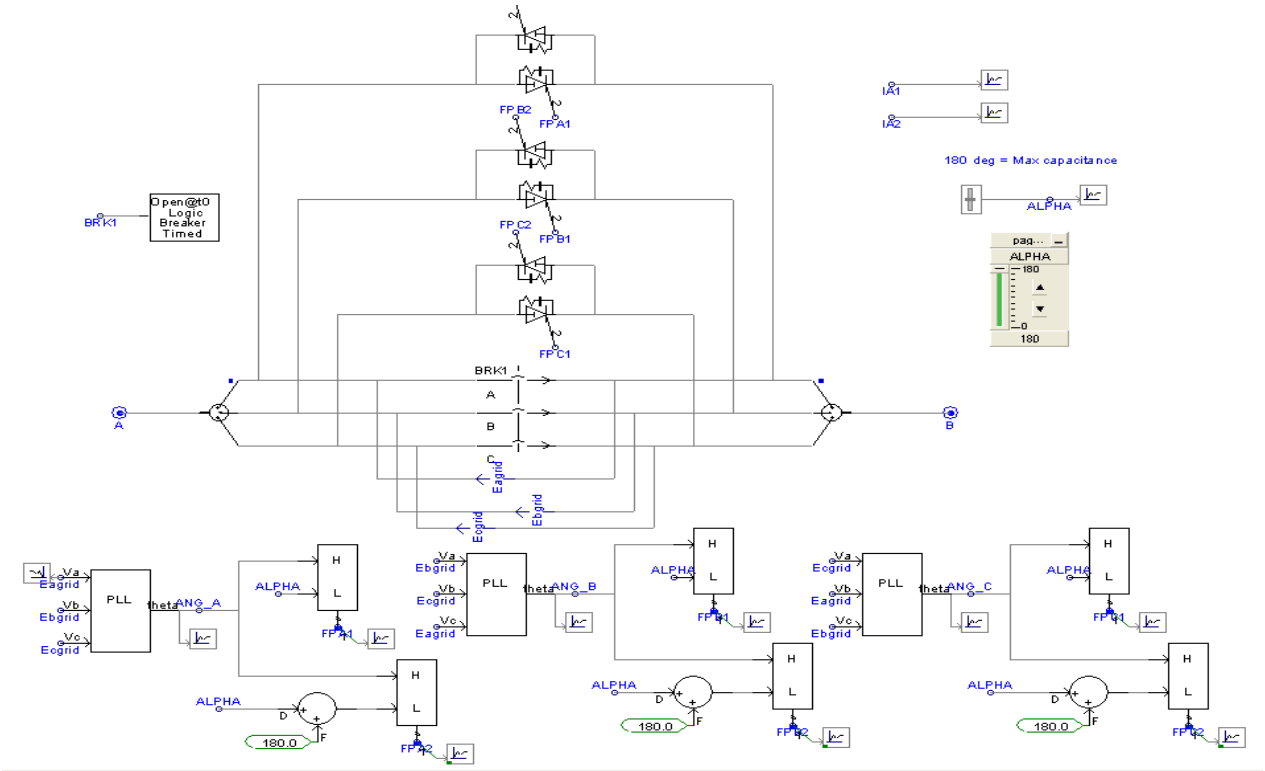
مدار شبیه سازی و نتایج حاصل از شبیه سازی در شکل های (۱۸)،(۱۹)،(۲۰)،(۲۱) نشان داده شده است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

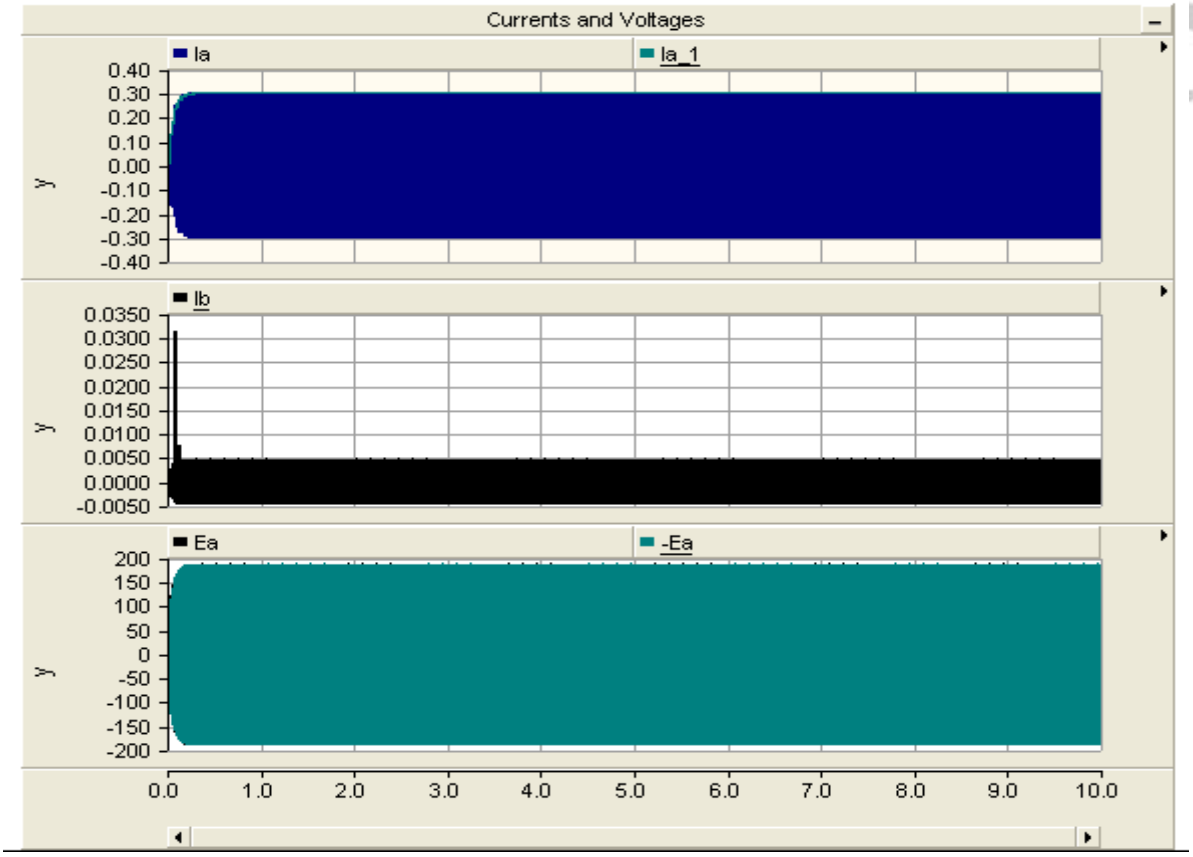


شکل (۱۸) مدار شبیه سازی TCSC

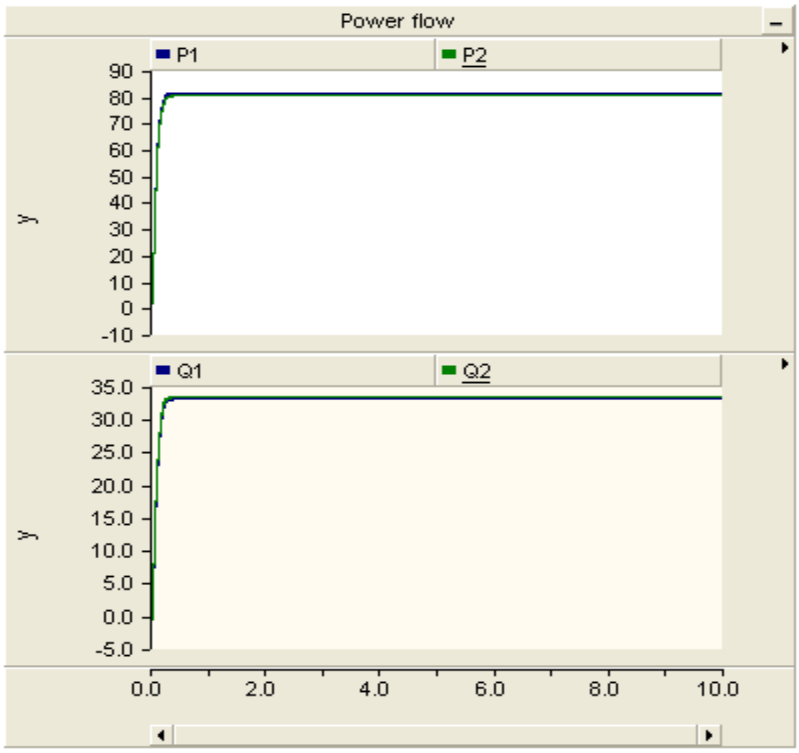
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل(۱۹) مدار کنترل TCSC

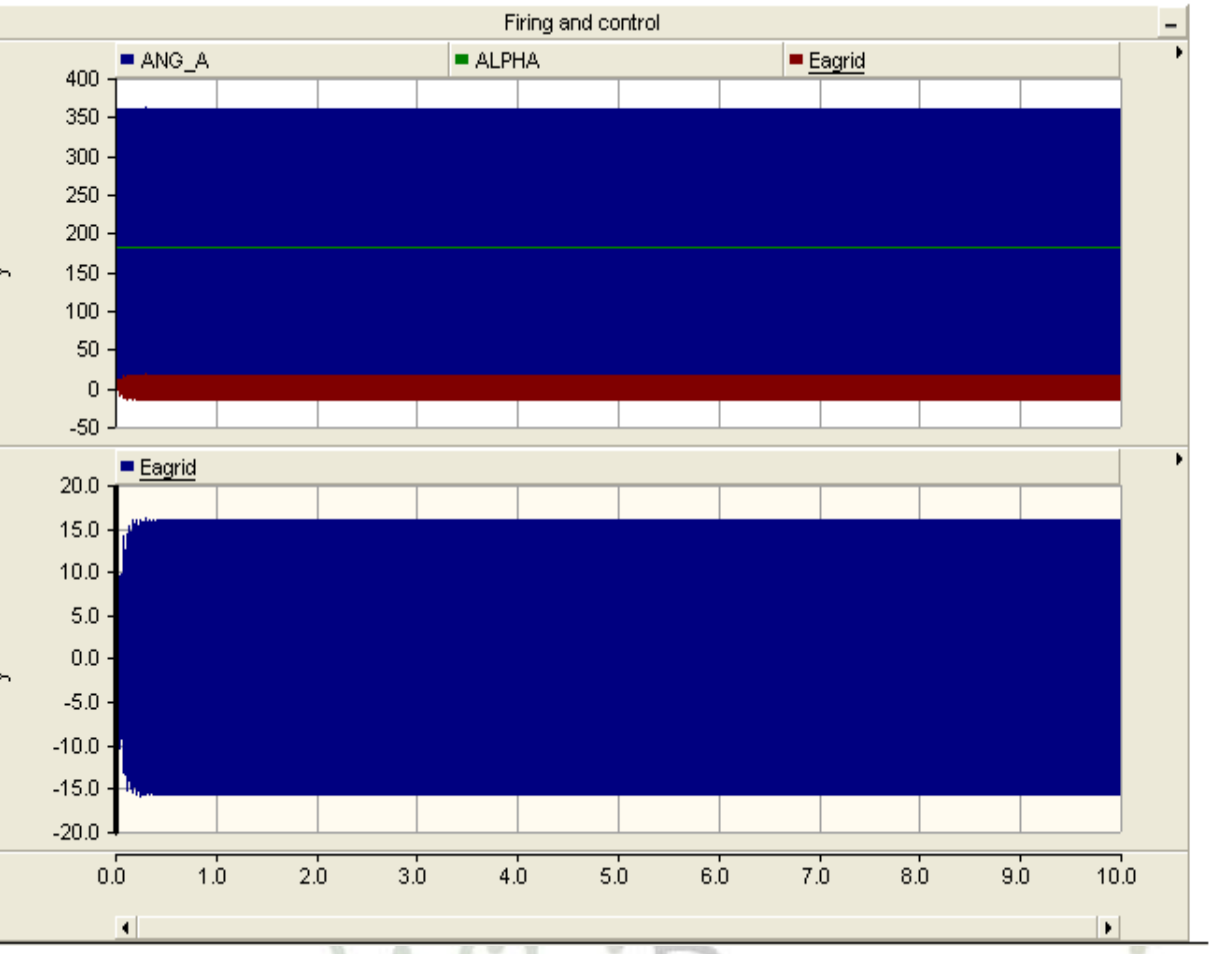


برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۲۰) نتایج به دست آمده از شبیه سازی TCSC

WikiPower.ir

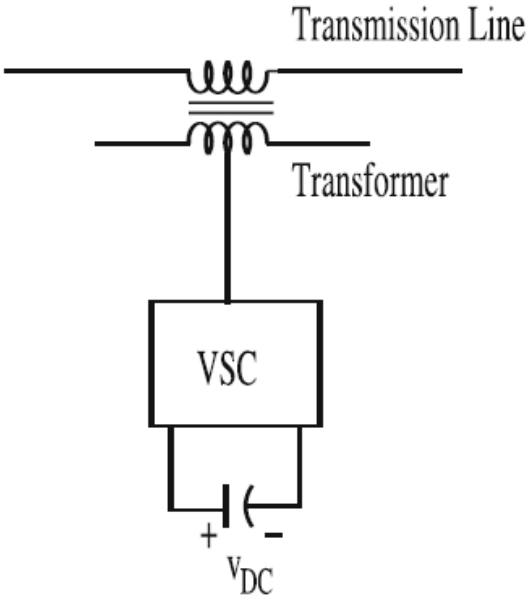


WikiPower.ir

شکل (۲۱) نتایج به دست آمده از شبیه سازی TCSC

۴- شبیه سازی SSSC

جبرانساز سنکرون استاتیکی (SSSC) بر پایه VSC می باشد. این جبرانساز ولتاژ راکتیو متغیری را در حالت سری با خط تزریق می کند. هیچ تبادل توان اکتیوی بین سیستم و SSSC اتفاق نمی افتد به جز توان کمی که آن هم برای جبران تلفات است. شکل (۲۲) ساختار یک SSSC نشان می دهد.



شکل (۲۲) شماتیک SSSC

در حالت دائمی ،ولتاژ راکتیو تزریقی بوسیله SSSC معادل آن است که یک خازن یا سلف به طور سری با خط قرار گرفته است اما رفتار دینامیکی SSSC متفاوت است.

WikiPower.ir

مدل SSSC

به راحتی SSSC را می توان با تبدیل ولتاژ و جریان های سه فاز به فضای DQ با استفاده از تبدیل زیر مدل کرد.

$$\begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\omega_o t) & \sin(\omega_o t) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\omega_o t - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\omega_o t - \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\omega_o t - \frac{4\pi}{3}) & \sin(\omega_o t - \frac{4\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_D \\ f_Q \\ f_o \end{bmatrix}$$

ω_0 فرکانس سیستم می باشد.همچنین کمیت توالی هموپلر صفر فرض شده است. ولتاژ اکتیو تزریقی و ولتاژ حقیقی SSSC که در جملات ولتاژ های تزریقی در مرجع DQ می باشد برابر است با:

$$v_R = v_{SD}\cos(\phi) - v_{SQ}\sin(\phi)$$

$$v_P = v_{SD}\sin(\phi) + v_{SQ}\cos(\phi)$$

که φ زاویه ایجادشده بوسیله بردار فضایی جریان است که در شکل (۲۳) نشان داده شده است.

WikiPower.ir

شکل(۲۳) دیاگرام فازوری

به طور ایده آل، V_p صفر است. خازن طرفDC بوسیله معادله زیر توصیف می شود:

$$\frac{dv_{DC}}{dt} = -\frac{g_c\omega_b}{b_c}v_{DC} - i_{dc}\frac{\omega_b}{b_c}$$

که g_c, b_c به ترتیب کونداکتانس و سوسپتانس خازن DC است.

$$i_{dc} = \frac{v_{SD} i_D + v_{SQ} i_Q}{v_{DC}} = \frac{v_P I}{v_{DC}}$$

که I دامنه جریان خط انتقال است.

دامنه ولتاژ خروجی کانورتر با ولتاژ خازن متناسب است. ثابت بودن این نسبت (شاخص مدولاسیون K_m) بستگی به روش سوئیچینگ اعمالی دارد. از این رو:

$$v_P = k_m v_{DC} \cos\gamma$$

$$v_R = k_m v_{DC} \sin\gamma$$

که γ زاویه بین بردار فضایی ولتاژتزریقی و بردار جریان خط است که در شکل (۲۳) نشان داده شده است.

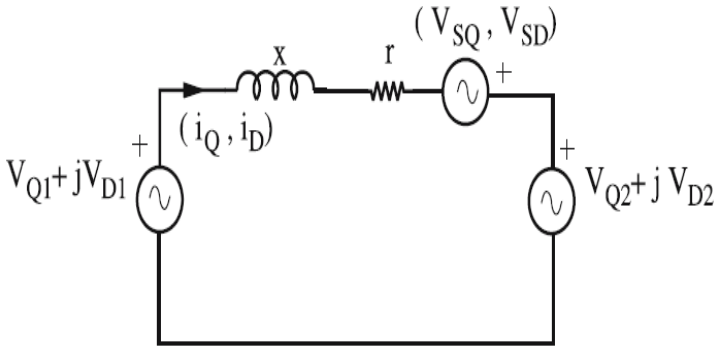
WikiPower.ir

کنترلرSSSC

دوساختار کنترلر وجود دارد، نوع اول و دوم. در کنترلر نوع اول دامنه ولتاژخروجی کانورتر و فاز ولتاژخروجی کانورتر(γ) کنترل می شود. خازن در یک ولتاژ ثابت بوسیله کنترل کردن مولفه های ولتاژ تزریقی در فاز با جریان خط V_{pref} باقی می ماند.

در کنترلر نوع دوم ،ولتاژ راکتیو را می توان بوسیله زاویه فاز کانورتر کنترل کرد هنگامی که K_m ثابت نگه داشته شود.با در نظر گرفتن

یک سیتم ساده شامل یک خط انتقال که به دو منبع ولتاژ متصل شده است می توان این موضوع را درک کرد.(شکل ۲۴)



شکل (۲۴) سیستم جبرانشده با SSSC

معادلات دینامیکی که جریان خط در متغیر های DQ را توصیف می کنند عبارتند از:

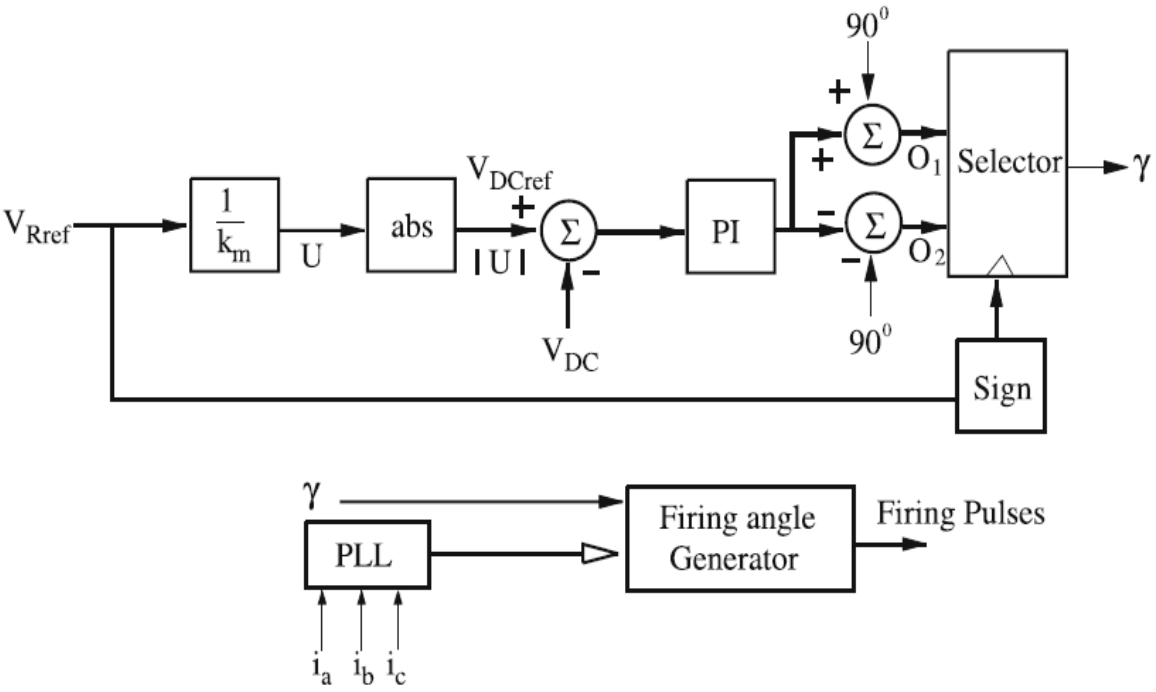
$$\frac{di_D}{dt} = -\frac{r\omega_b}{x} i_D - \omega_b i_Q + \frac{\omega_b}{x}(v_{D1} - v_{D2} + v_{SD})$$

$$\frac{di_Q}{dt} = -\frac{r\omega_b}{x} i_Q + \omega_b i_D + \frac{\omega_b}{x}(v_{Q1} - v_{Q2} + v_{SQ})$$

که r,x به ترتیب مقاومت و راکتانس خط است. رفتار حالت دائمی بوسیله صفر قراردادن طرف چپ معادلات بالا و به دست آوردن ولتاژها و سپس قرار دادن آن ها در معادلات ابتدایی به دست می آید.

$$(r + jx + Z)(i_Q + ji_D) = (v_{Q1} - v_{Q2}) + j(v_{D1} - v_{D2})$$

$$v_{DC} = \frac{k_m}{g_c} I \cos\gamma,$$



شکل (۲۵) کنترلر نوع دوم

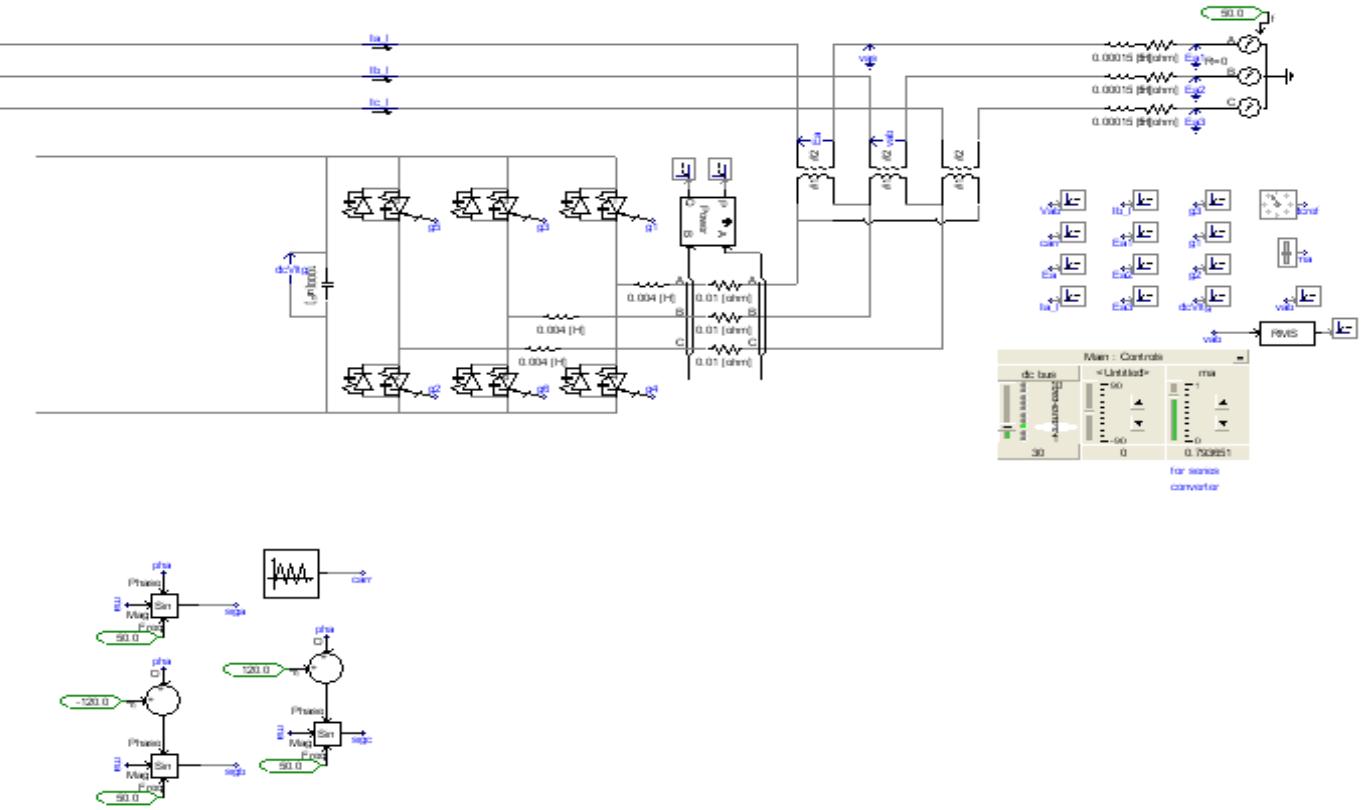
WikiPower.ir

برای یک مقدار ثابت γ مشخص است که SSSC شبیه یک امپدانس Z رفتار می کند.

این جبرانساز که از لحاظ ساختمانی شبیه STATCOM است نیزبه صورت سری با خط انتقال قرار می گیرد. در نتیجه می توان با حاصل جمع ولتاژ خط و ولتاژ SSSC عمل جبرانسازی را انجام داد. شکل کلی این جبرانساز در شکل های (۲۶)،(۲۷) آمده است.

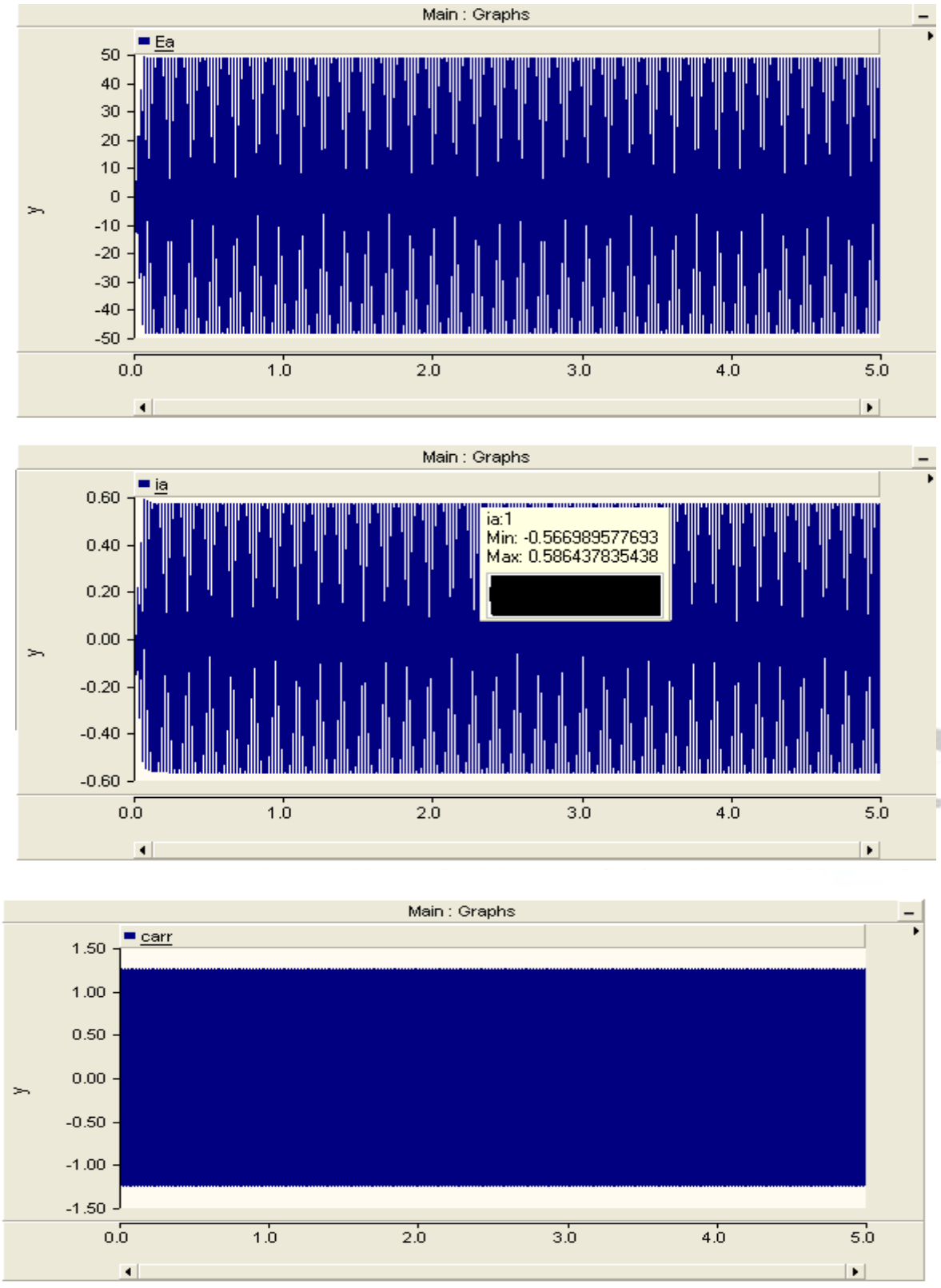
برای کنترل این المان از PWM بهره گرفته ایم. برای این منظور از مقایسه کننده ای استفاده می شود که دو موج مثلثی و سینوسی را

با یکدیگر مقایسه کرده و اگر مـوج سینوسـی بیشـتر باشـد فرمـان تریگر کردن و اگر موج مثلثی بیشتر باشد فرمان خاموشی تریسـتور ها را صادر می کند.



شکل (۲۶) مدار شبیه سازی SSSC

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

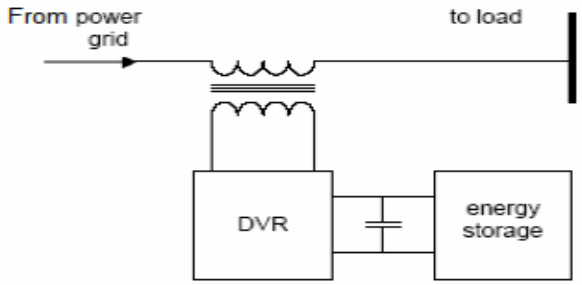


شکل (۲۷) نتایج به دست آمده از شبیه سازی SSSC

۵- شبیه سازی DVR

DVR برای حفاظت بار های خاص در برابر Voltage Sag و Voltage Swell یا قطعی های کوتاه مدت استفاده می شود. آرایش DVR مشابه با یک SSSC است که کنترل آن متفاوت می باشد. ولتاژ خروجی آن از طریق یک ترانسفورمر سری با ولتاژ خط سری می شود. ولتاژ بر جریان خط عمود است لذا نقش یک خازن را دارد که از امپدانس سری خط کم می کند.

ولتاژ در شین بار برابر است با جمع ولتاژ شبکه و ولتاژ تزریقی ازDVR . کانورتر توان راکتیو مورد نیاز را تا هنگامی که توان اکتیواز منبع انرژی می گیرد تولید می کند.



شکل(۲۸) نمای کلی یک dvr

در شکل (۲۹) مدار سمت چپ DVR مدار معادل تونن سیستم است.امپدانس معادل سیستم Z_{th} وابسته به سطح اتصال کوتاه

شین بار است. هنگامی که ولتاژسیستم افت می کند، DVR از طریق ترانسفورمر ،ولتاژ V_{dvr} را تزریقمی کند تا دامنه ولتاژبار V_l به مقدار مطلوب برسد. ولتاژ سری تزریقی DVR برابر است با:

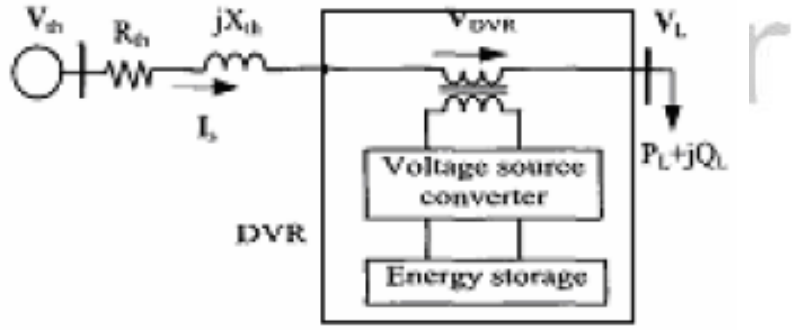
$$V_{DVR} = V_L + Z_{th}I_L - V_{th}$$

که در آن:

V_l دامنه ولتاژبار ، I_l جریان بار، Z_{th} امپدانس بار، V_{th} ولتاژ سیستم در طی شرایط خطا است.

جریان بار برابر است با:

$$I_L = \left(\frac{(P_L + J * Q_L)}{V_L} \right)^*$$



شکل (۲۹) شماتیک دیاگرام یک dvr

هنگامی که V_lبه عنوان مبنا انتخاب شود می توان نوشت:

$$V_{DVR}\angle\alpha = V_L\angle 0 + Z_{th}I_L\angle(\beta - \theta) - V_{th}\angle\delta$$

که α, β, δ به ترتیب فاز، V_{th}, Z_{th}, V_{DVR} است. و θ زاویه ضریب توان بار است. توان مختلط تزریقیDVR برابر است با:

$$S_{DVR} = V_{DVR} I_L^*$$

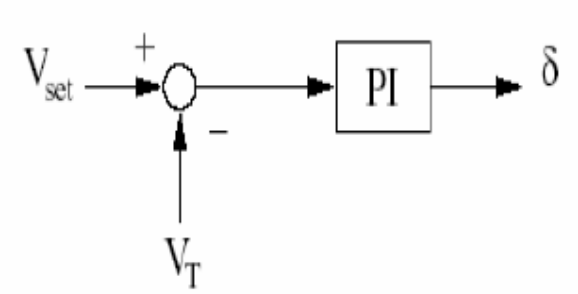
کنترلر DVR

هدف ازکنترل برقراری دامنه ولتاژ ثابت در نقطه ای که یک بار حساس به آن متصل است تحت اغتشاش سیستم. سیستم کنترل فقط rms ولتاژ در نقطه بار را اندازه گیری می کند و اندازه گیری توان راکتیو نیاز نیست. روش سوئیچینگ VSC بر پایه تکنیک PWM سینوسی است که ساده است و پاسخ مناسبی دارد. از زمانی که Custom Power مربوط بهاستفاده در سطح توان پایین شد، روش های PWM شرایط خیلی انعطاف پذیر را نسبت به روش های سوئیچینگ فرکانس اصلی (FFS) ایجاد کرد. در کنار آن، فرکانس سوئیچینگ بالا می توانند برای بهبود کارآیی کانورتر ها استفاده شود.

ورودی کنترلر سیگنال error است که از ولتاژ مرجع و مقدار rms ولتاژ ترمینال اندازه گیری شده به دست می آید. اغلب سیگنال error بوسیله یک کانورتر PI پردازش می شود .خروجی

کنترلر PI زاویه δ است که برای تولید کننده سیگنال PWM تهیه می شود.

کنترلر PI سیگنال error را پردازش می کند وزاویه مورد نظر برای صفر کردن سیگنال error تولید می کند در واقع ولتاژ rms بار به ولتاژ مرجع بر می گردد.



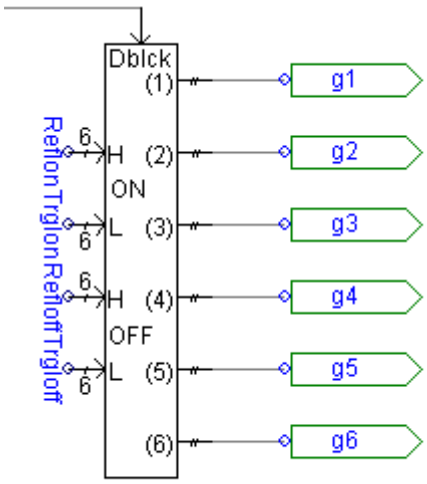
شکل (۳۰) کنترلر PI

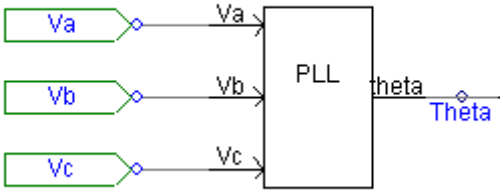
سیگنال سینوسی $V_{control}$ بوسیله زاویه δ مدولاسیون زاویه می شود.

$$V_A = \sin(\omega t + \delta)$$
$$V_B = \sin(\omega t + \delta - 2\pi/3)$$
$$V_C = \sin(\omega t + \delta + 2\pi/3)$$

سپس سیگنال مدوله شده $V_{control}$ با یک سیگنال مثلثی مقایسه می شود (PWM) به عبارت دیگر سیگنال های سوئیچینگ برای گیت های VSC تولید می شود.

در اینجا نیز از یک بلوک Interpolated Firing Pulses استفاده می کنیم و همچنین از بلوک PLL استفاده شده است.

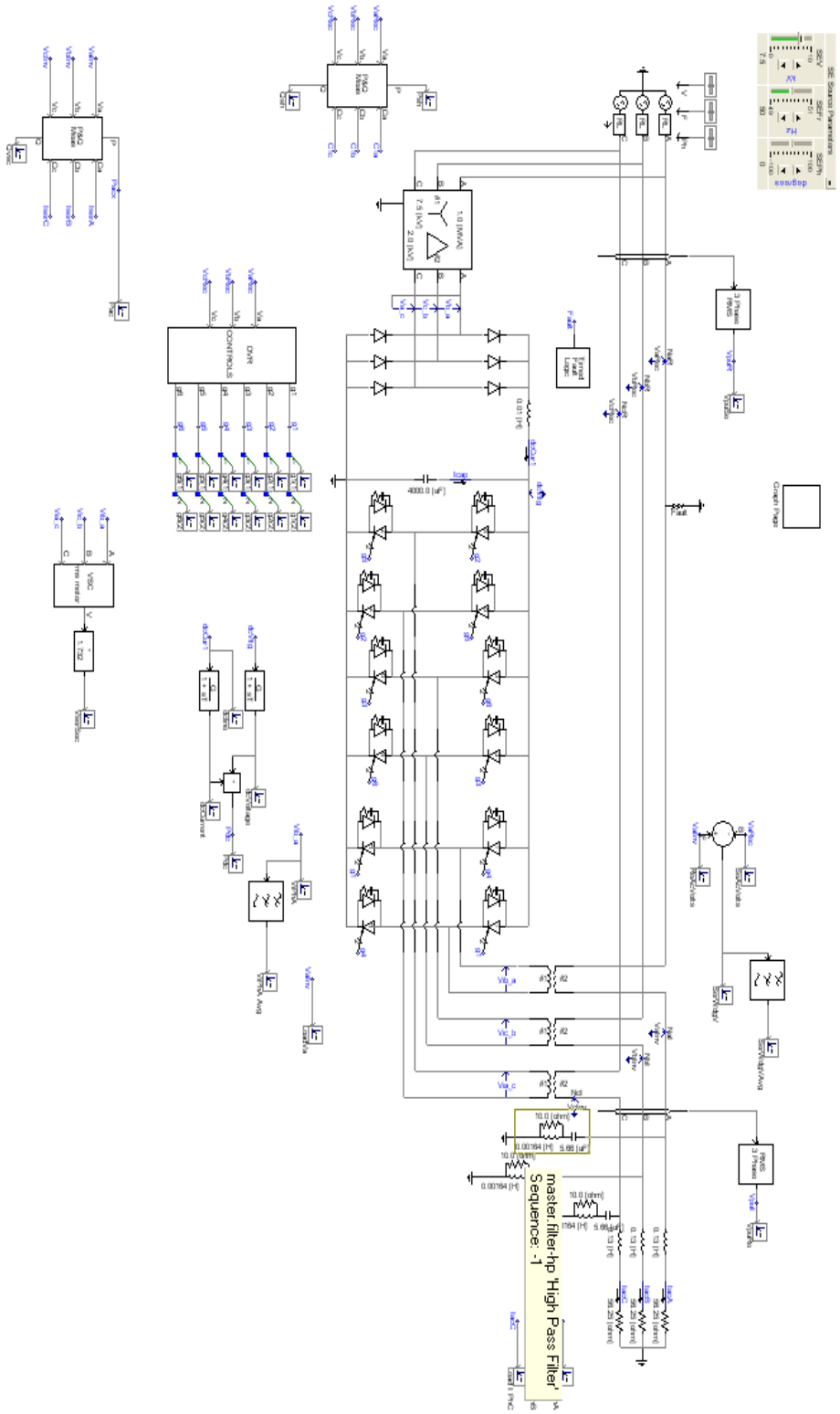




مدار شبیه سازی DVR در شکل های (۳۱)،(۳۲)،(۳۳) آمده است.

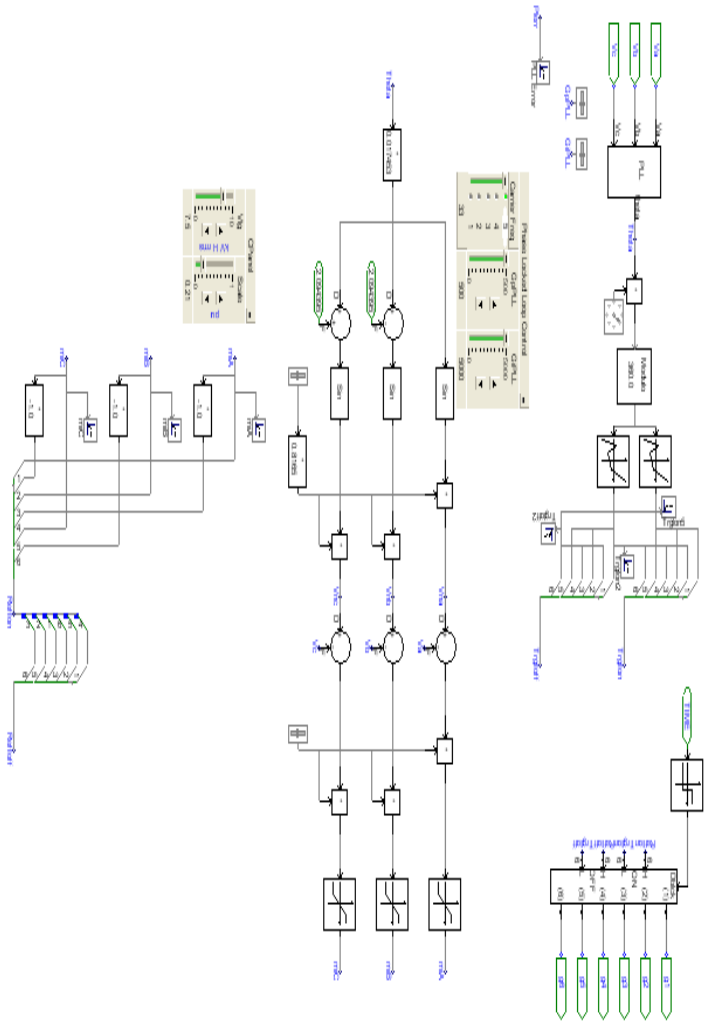
WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



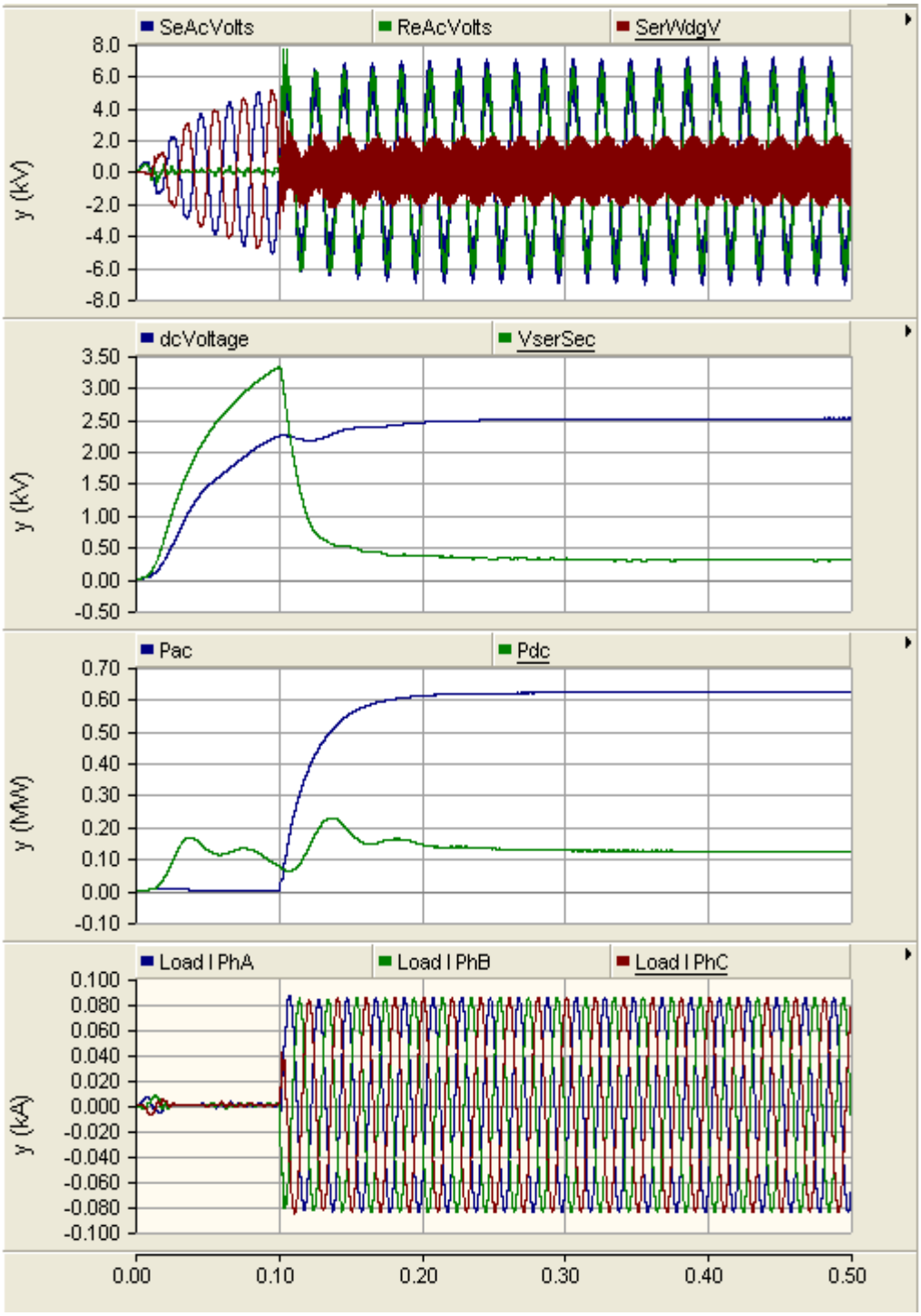
شکل (۳۱) مدار شبیه سازی DVR

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل (۳۲) مدار کنترل DVR

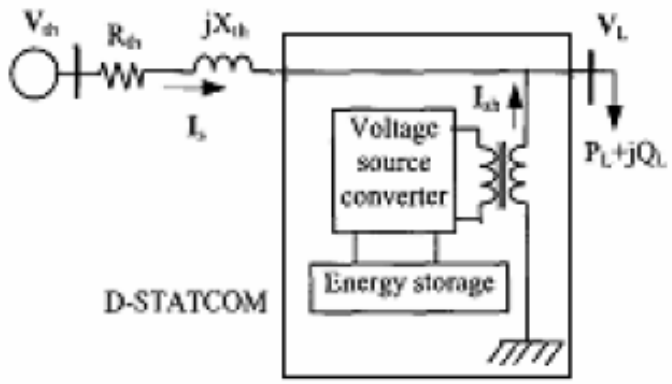


شکل (۳۳) نتایج به دست آمده از شبیه سازی DVR

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۶ – شبیه سازی D-STATCOM

یک D-STATCOM که به صورت شماتیک در شکل (۳۴) نشان داده شده است شامل یک VSC دو سطحی ، یک ذخیره کننده انرژی DC ، یک ترانسفورمر کوپلینگ است که به طور موازی به شبکه توزیع متصل می شود. VSC ولتاژ DC ذخیره کننده را به یک ولتاژ ac سه فاز قابل تنظیم تبدیل می کند. تنظیم مناسب فاز و دامنه ولتاژ های خروجی D-STATCOM اجازه می دهد که کنترل موثر تبادل توان اکتیو و راکتیو بین D-STATCOM و سیستم ac ایجاد شود آن اجازه می دهد.



شکل(۳۴) شماتیک دیاگرامD-STATCOM

VSC به طور موازی با سیستم ac متصل می شود و یک توپولوژی چند متغیره که می توان ۳ هدف زیر را از آن استفاده کرد مهیا می کند:

۱. تنظیم ولتاژ و جبران سازی توان راکتیو

۲. اصلاح ضریب توان

۳. حذف هارمونیک های جریان

از اینرو بعضی از این ادوات برای ایجاد تنظیم ولتاژ پیوسته با استفاده از یک کانورتر کنترل شده به طور غیر مستقیم به کار برده می شوند. در شکل بالا ، جریان تزریقی موازی I_{sh} ، Voltage Sag را بوسیله تنظیم کردن افت ولتاژ ایجاد شده بوسیله Z_{th} را اصلاح می کند. مقدار I_{sh} را می توان بوسیله تنظیم ولتاژ خروجی کانورتر کنترل کرد.

جریان تزریقی موازی I_{sh} برابر است با :

$$I_{sh} = I_L - I_s = I_L - \frac{V_{Th} - V_L}{Z_{Th}}$$

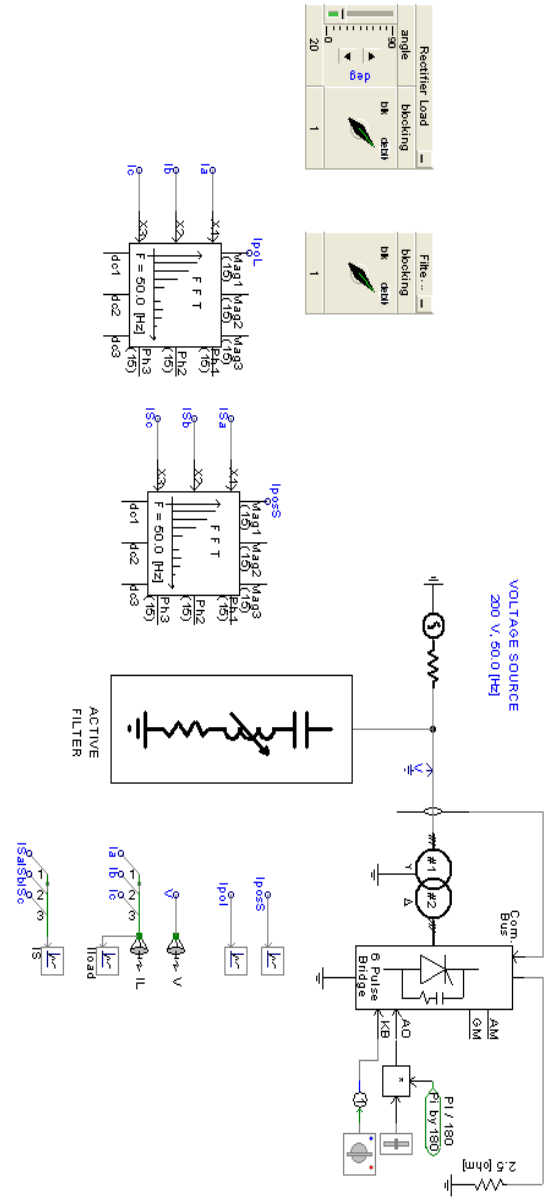
$$I_{sh}\angle\eta = I_L\angle -\theta - \frac{V_{th}}{Z_{th}}\angle(\delta-\beta) + \frac{V_L}{Z_{th}}\angle -\beta$$

توان ظاهری تزریقی D-STSTCOM برابر است با :

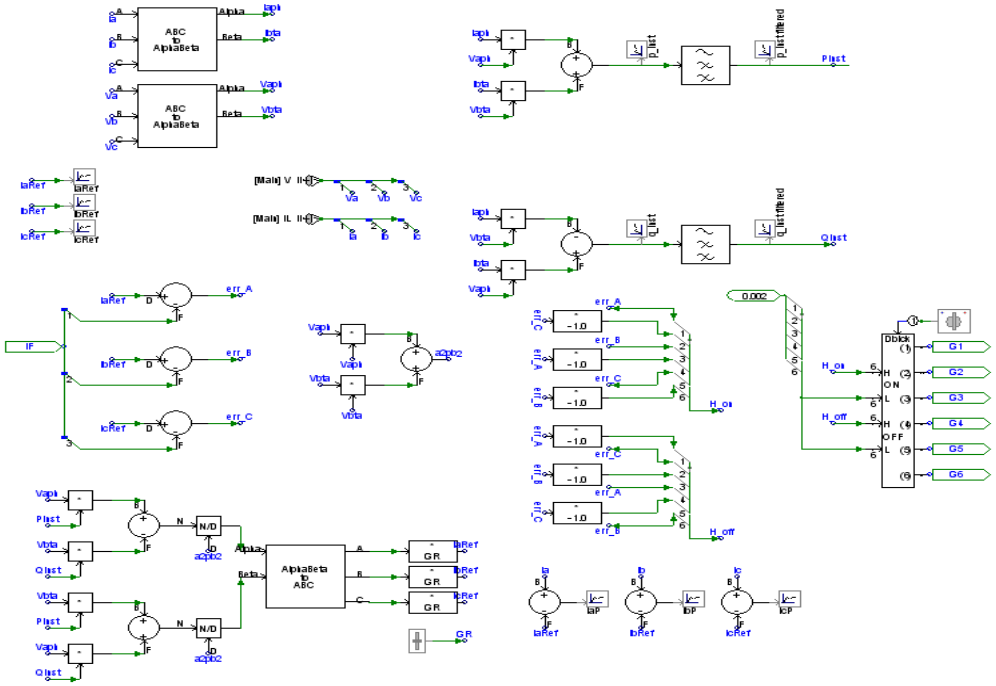
$$S_{sh} = V_L I_{sh}^*$$

در شکل های (۳۵)،(۳۶)،(۳۷) مدار شبیه سازی D-STSTCOM آمده است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

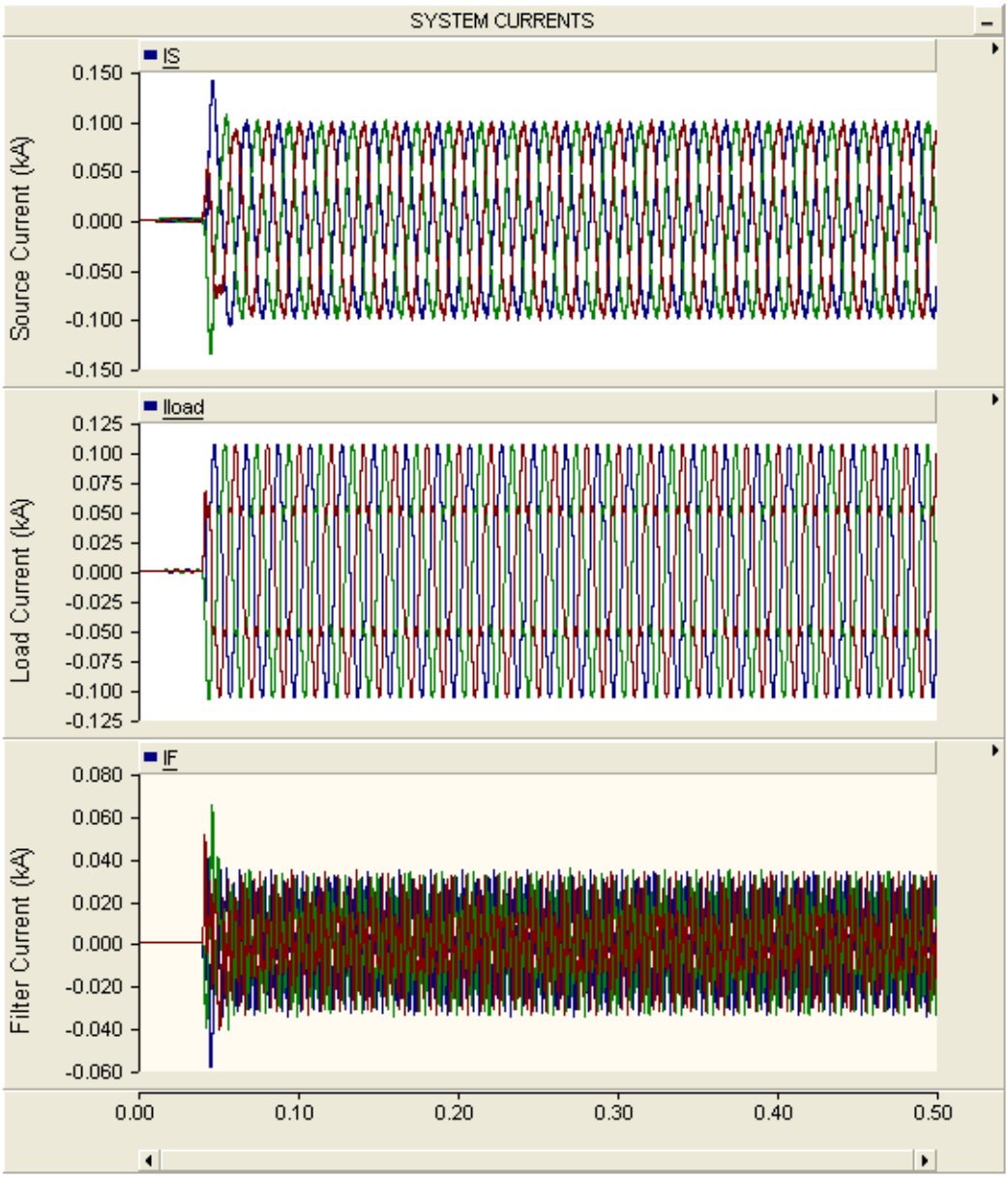


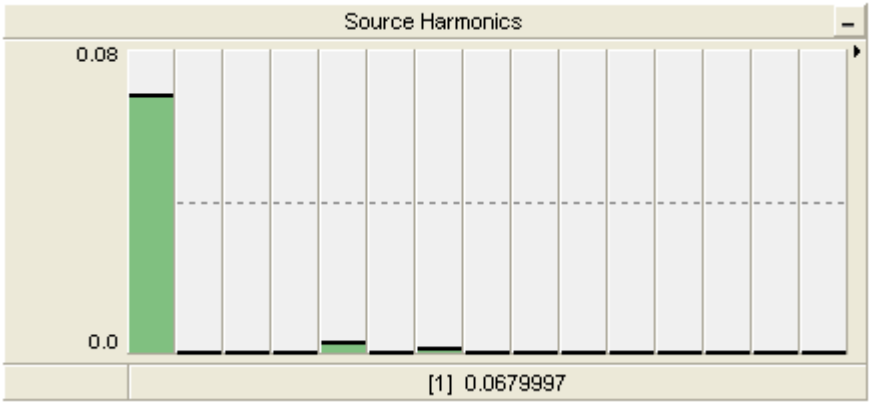
شکل (۳۵) مدار شبیه سازی D-STATCOM



WikiPower.ir

شکل (۳۶) مدار کنترل D-STATCOM





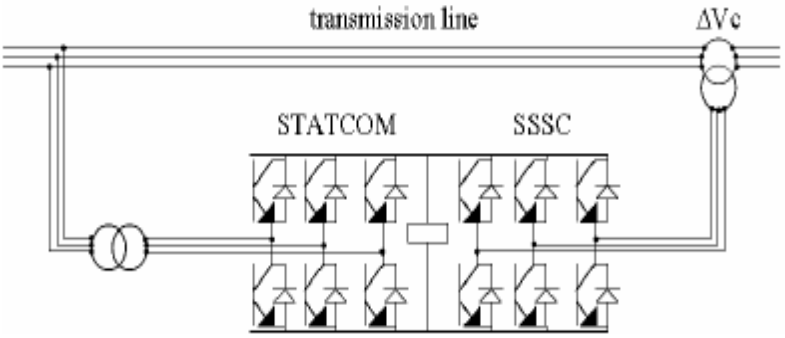
شکل (۳۷) نتا یج حاصل از شبیه سازی D-STATCOM

۷- شبیه سازی UPFC

UPFC از یک SSSC و STATCOM تشکیل شده است. STATCOM به صورت یک SVC استاتیک عمل می کرد و برای تنظیم ولتاژ شبکه از آن بهره می گیرند. SSSC یک خازن سری در شبکه است و این دو به صورت مکمل به عنوان UPFC شناخته می شوند و برای رگولاسیون ولتاژ، Line Impedance Compensator مورد استفاده قرار می گیرند.

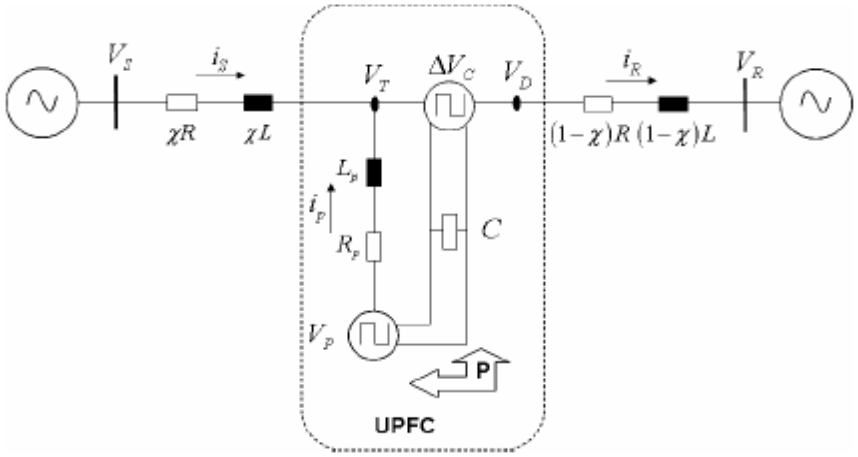
تبادل توان حقیقی بوسیله SSSC از خط انتقال از طریق کنترلر موازی به دست می آید و کنترل ولتاژ از طریق تزریق توان راکتیو حاصل می شود.شکل (۳۸) نمای کلی یک UPFC را نشان می دهد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



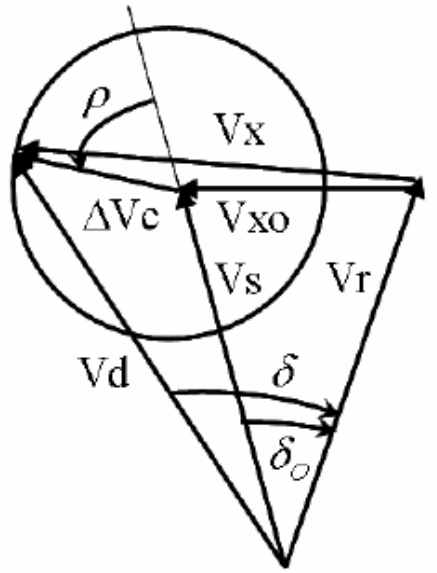
شکل (۳۸) نمای کلی UPFC

یک مدار ساده برای UPFC که در دو طرفه منابع ولتاژ از طریق خطوط انتقال متصل شده است در شکل (۳۹) نشان داده شده است.



شکل (۳۹)

در شکل (۴۰) دیاگرام فازوری عملکرد UPFC آمده است.



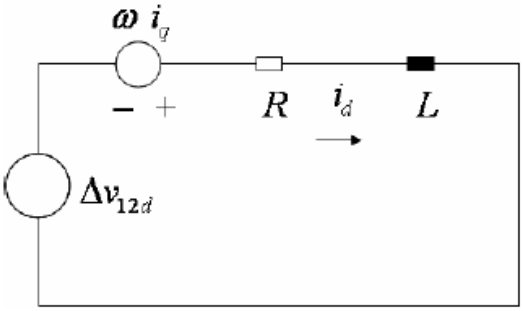
شکل (۴۰)

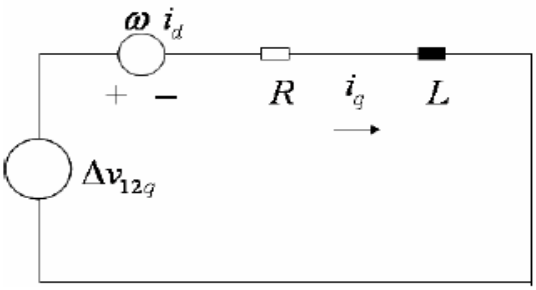
برای x=0 ، UPFC در باس فرستنده قرار می گیرد وبـرای V_{xo} بـه عنوان افت ولتاژ امپدانس خط انتقال می توان در نظر گرفت.

WikiPower.ir

کنترلر PI

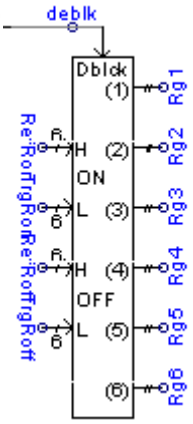
چهار روش برای کنترلر UPFC وجود دارد. ایـن روش هـا بـر پایـه کنترلر های PI ویا کنترلر های تناسـبی هسـتند. مـدارهای تبـدیل برای کنترل UPFC در زیر آورده شده است.





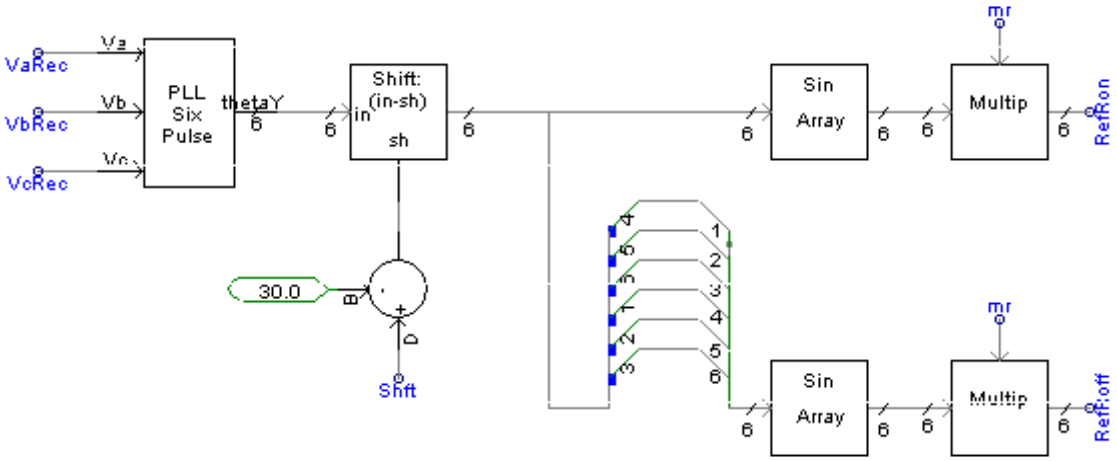
روش کلی برای کنترل جریان های پارک i_d, i_q ، بـه دسـت آوردن V_d, V_q وتبـدیل بـه ولتاژهـای لحظـه ای و محاسـبه شـاخص مدولاسیون که نیازمند به به دست آوردن این بردار است دارد.

بـرای شـبیه سـازی UPFC نیـز از بلـوک هـای Interpolated Firing Pulses و PLL استفاده می شود.



همچبین برای ایجاد زوایای آتش خروجـی PLL بـه یـک Phase Shifter وارد شده و از آن جا به تریستور ها اعمال می شود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

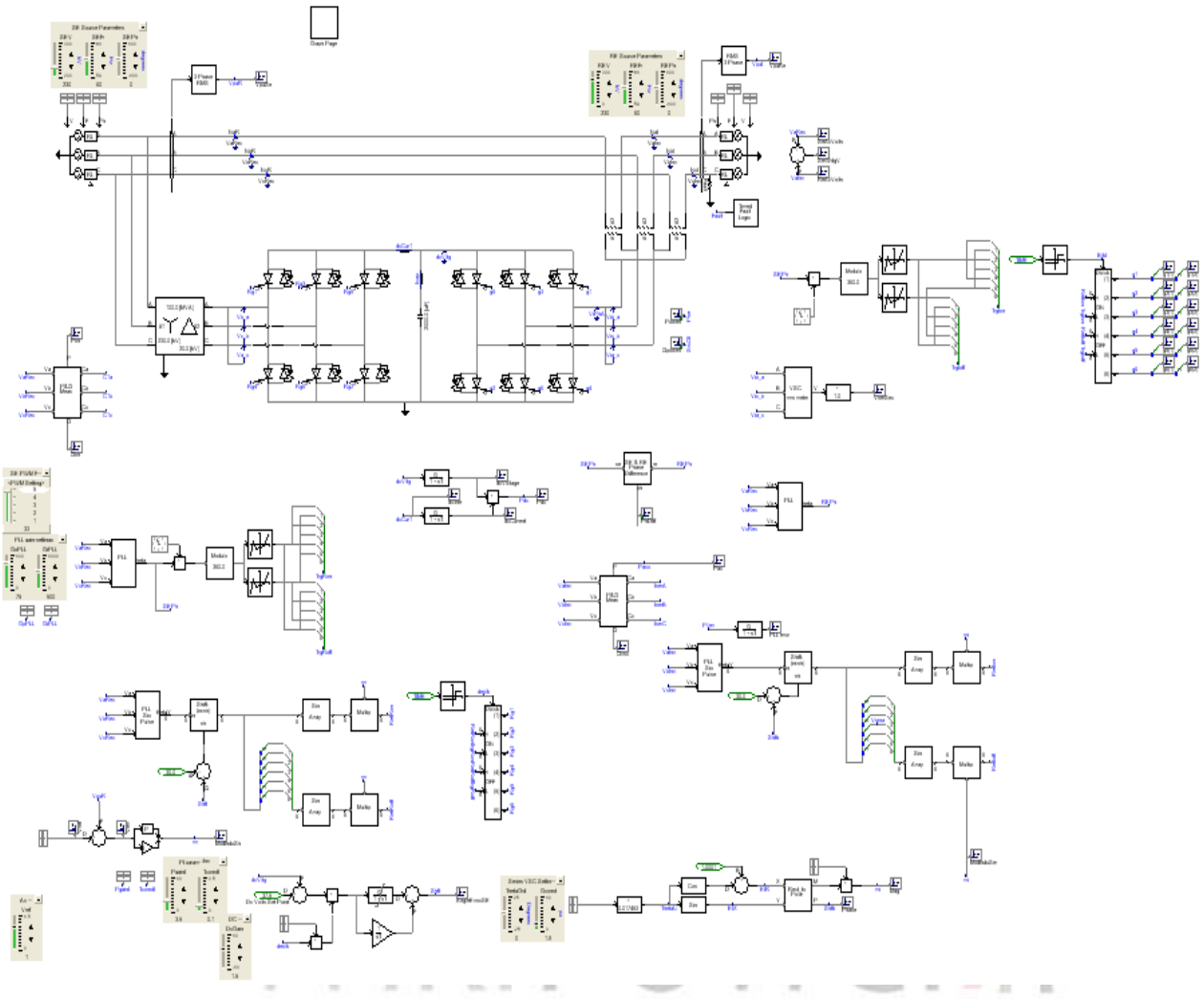


مدار شبیه سازی و نتایج حاصل از آن در شکل های (۴۱)،(۴۲)

آمده است.

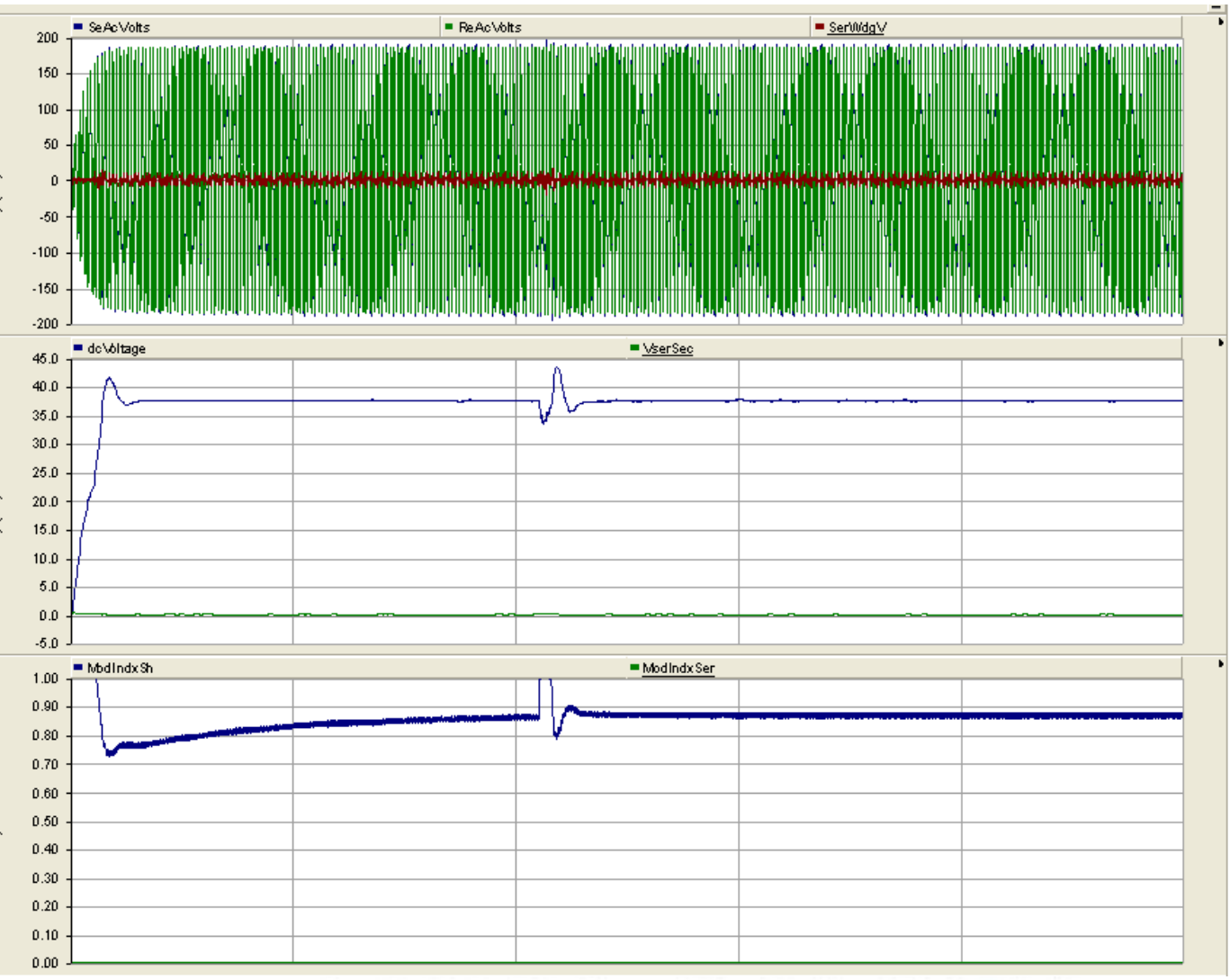
WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴۱) مدار شبیه سازی UPFC

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴۲) نتایج به دست آمده از شبیه سازی UPFC

۸-شبیه سازی UPQC

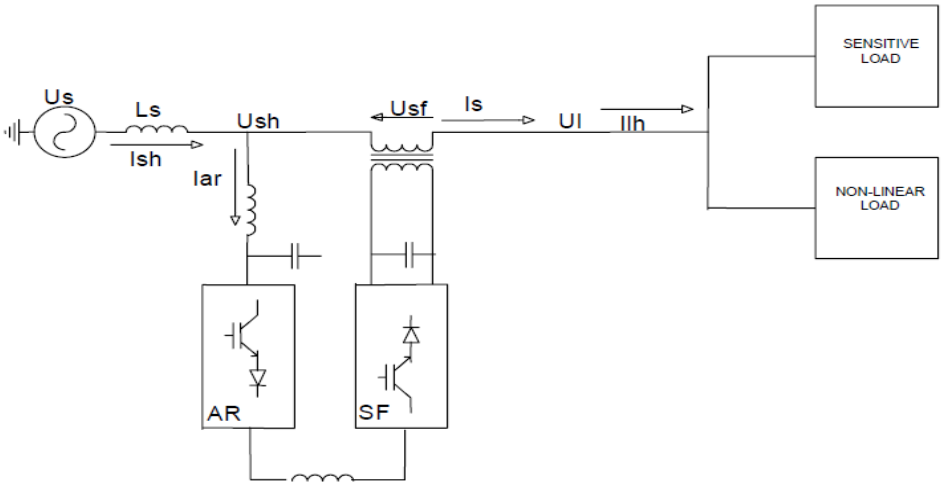
UPQC معمولا شامل دوVSC است که از طریق یک اتصال DC خازنی به هم مرتبط شده اند. یکی از کانورتر ها Active Filter است در حالی که دیگری یک فیلتر سری Series Filter است بایک فیلتر ریپل LC و ترانسفورمر که آن را از شبکه ایزوله می کند. همچنین در نقطه بار، بانک های فیلتر Passive نصب می شود.

هنگامی که AR داخل UPQC به عنوان یک تصحیح کننده ضریب توان مورد استفاده قرار گیرد، نوسانات ولتاژ باس DC ظاهر می شود که کنترل ولتاژ خروجی فیلتر سری را مشکل تر می کند. با استفاده از کانورتر منبع جریان می توان بر این مشکلات غلبه کرد.

در این پروژه یک UPQC که شامل دو کانورتر منبع جریان سه فاز که از طریق اتصال DC سلفی به هم متصل شده است ارائه می شود که در شکل (۴۳) نشان داده شده است.

UPQCشامل : فیلتر سری که هارمونیک، فلیکر، Voltage Sag ، Voltage Swell را جبران می کند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

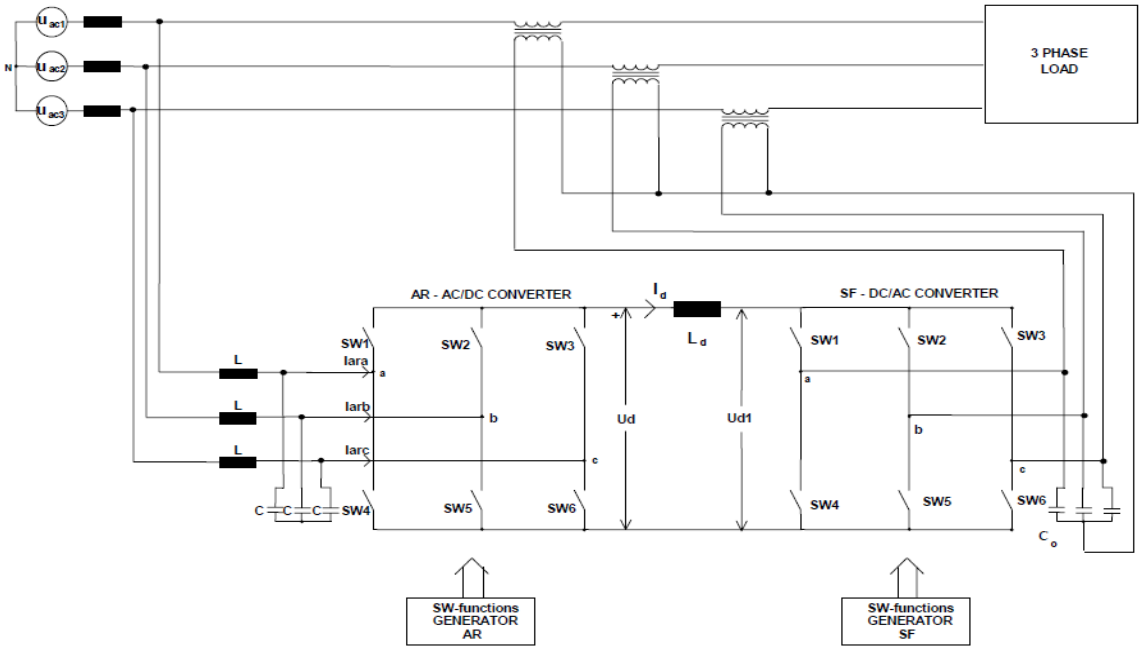


شکل (۴۳) نمای کلی UPQC با استفاده از کانورتر منبع جریان

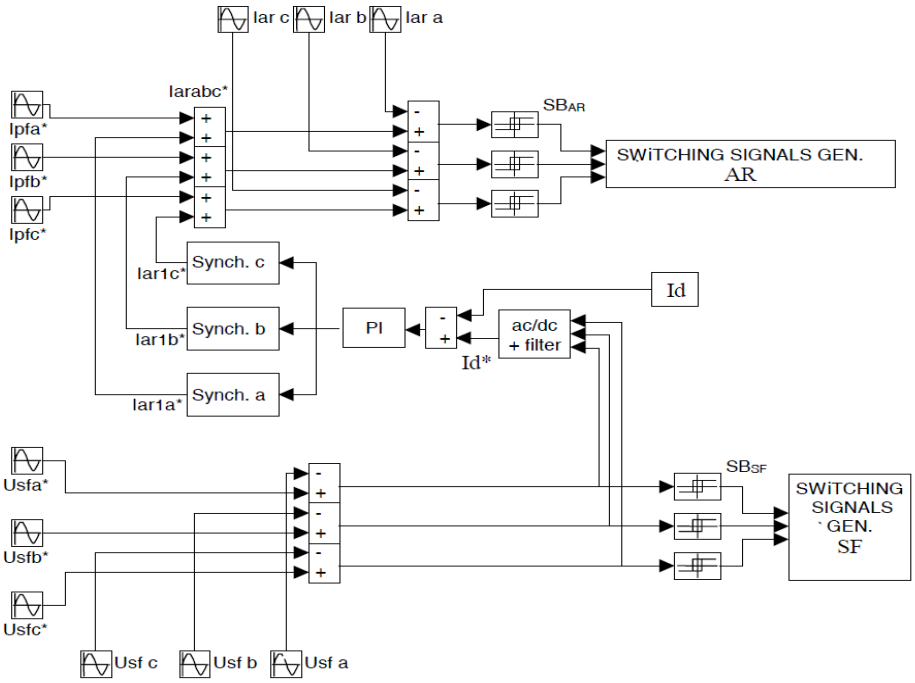
فیلتر اکتیو برای انتقال توان حقیقی به باس DC و برای کنترل جریان باس DC بایک ضریب توان واحد به خوبی فیلترینگ هارمونیکی و یا جبران سازی توان راکتیو مورد استفاده قرار می گیرد.

ساختار کنترل کانورتر منبع جریان در شکل (۴۴) نشان داده شده است. سیگنال های مرجع ولتاژ با ولتاژ های خروجی واقعی مقایسه می شوند. اختلاف آن ها (سیگنال error) تطبیق گر هیسترزیس را تغذیه کرده که از یک اینورتر دو سطحی سوئیچینگ تشکیل شده است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴۴) ساختار کانورتر با الگوی سوئیچینگ

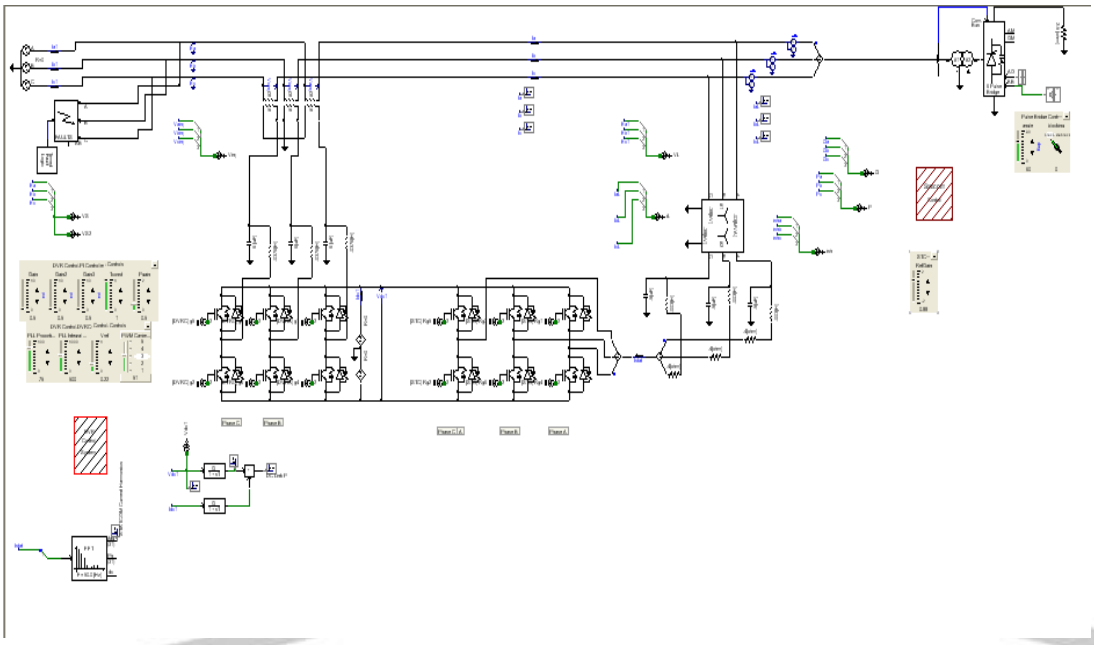


شکل (۴۵) ساختار کنترل UPQC

www.wikipower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

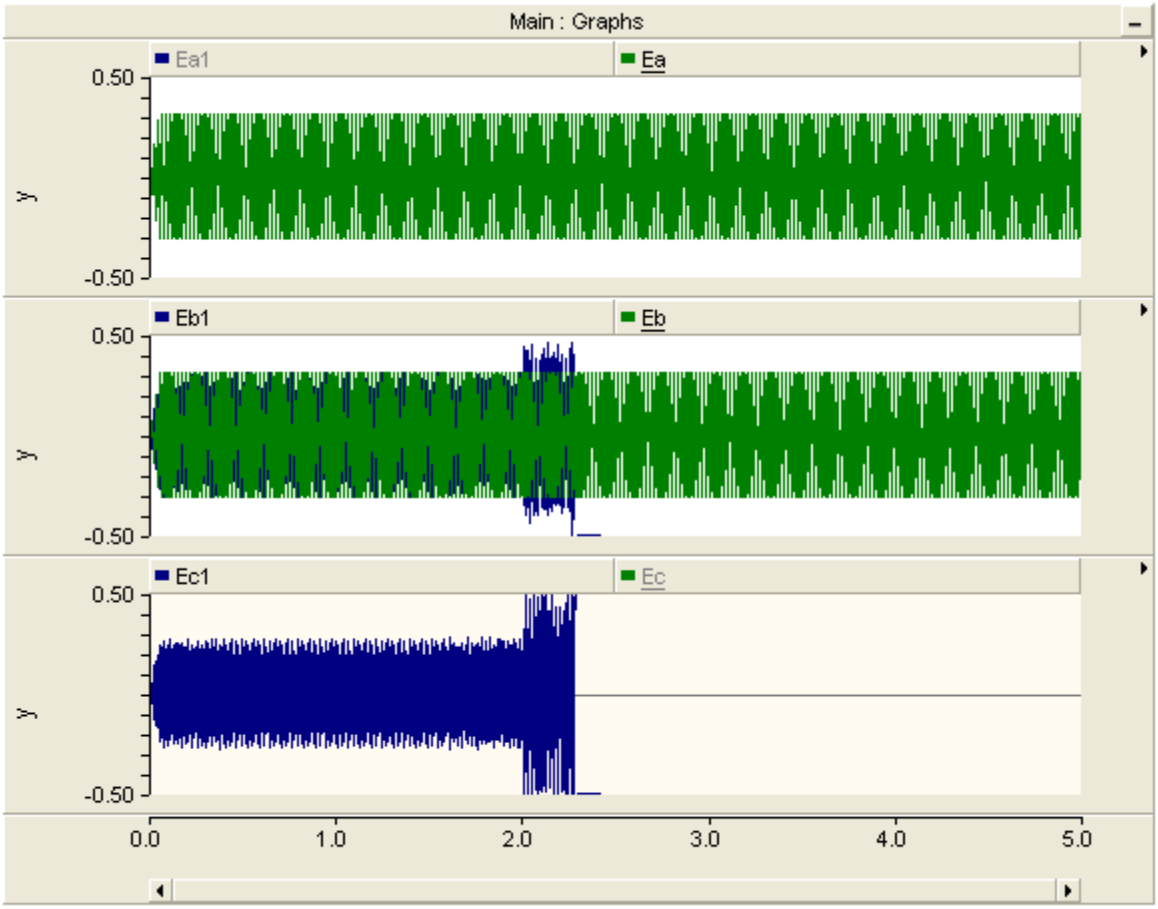
مدار شبیه سازی و نتایج حاصل از شبیه سازی در شکل های (۴۶)،(۴۷)،(۴۸) آمده است.

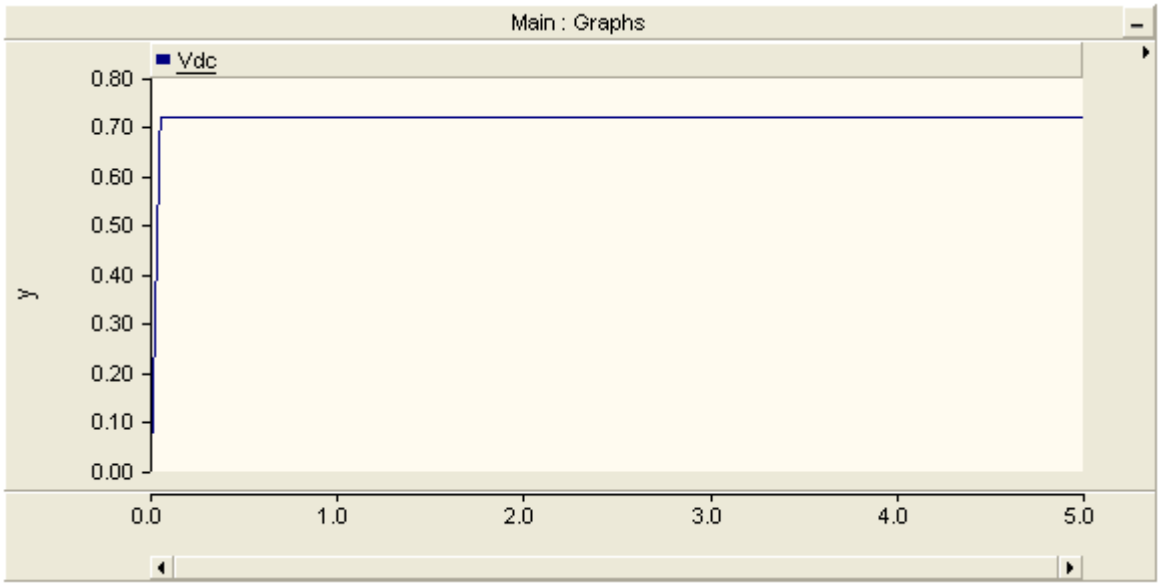


شکل(۴۶) مدار شبیه سازی UPQC

WikiPower.ir

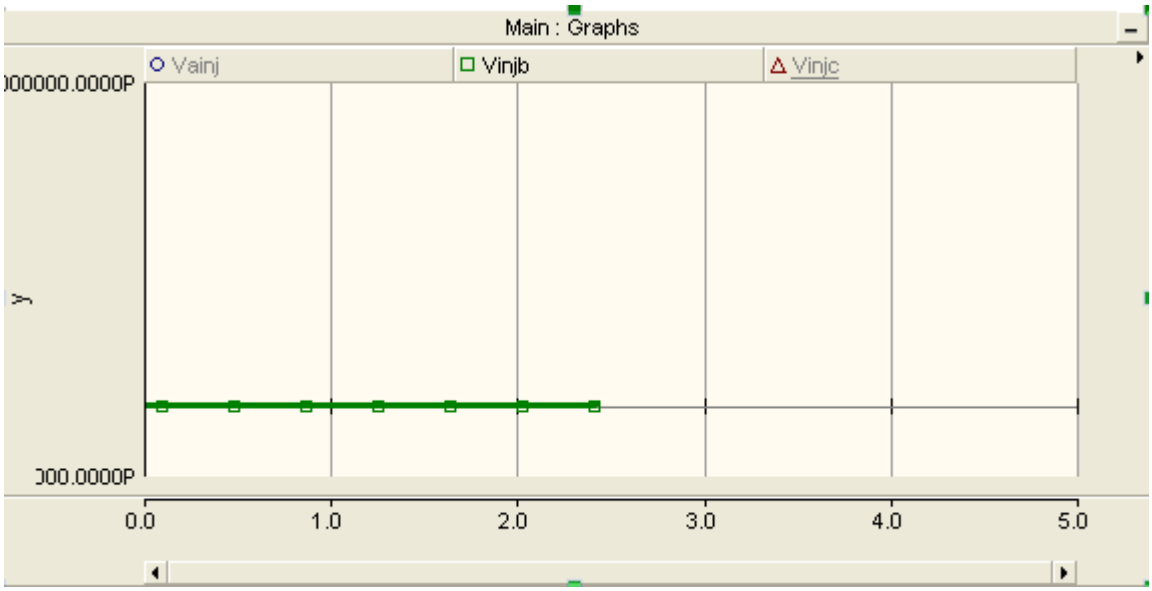
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

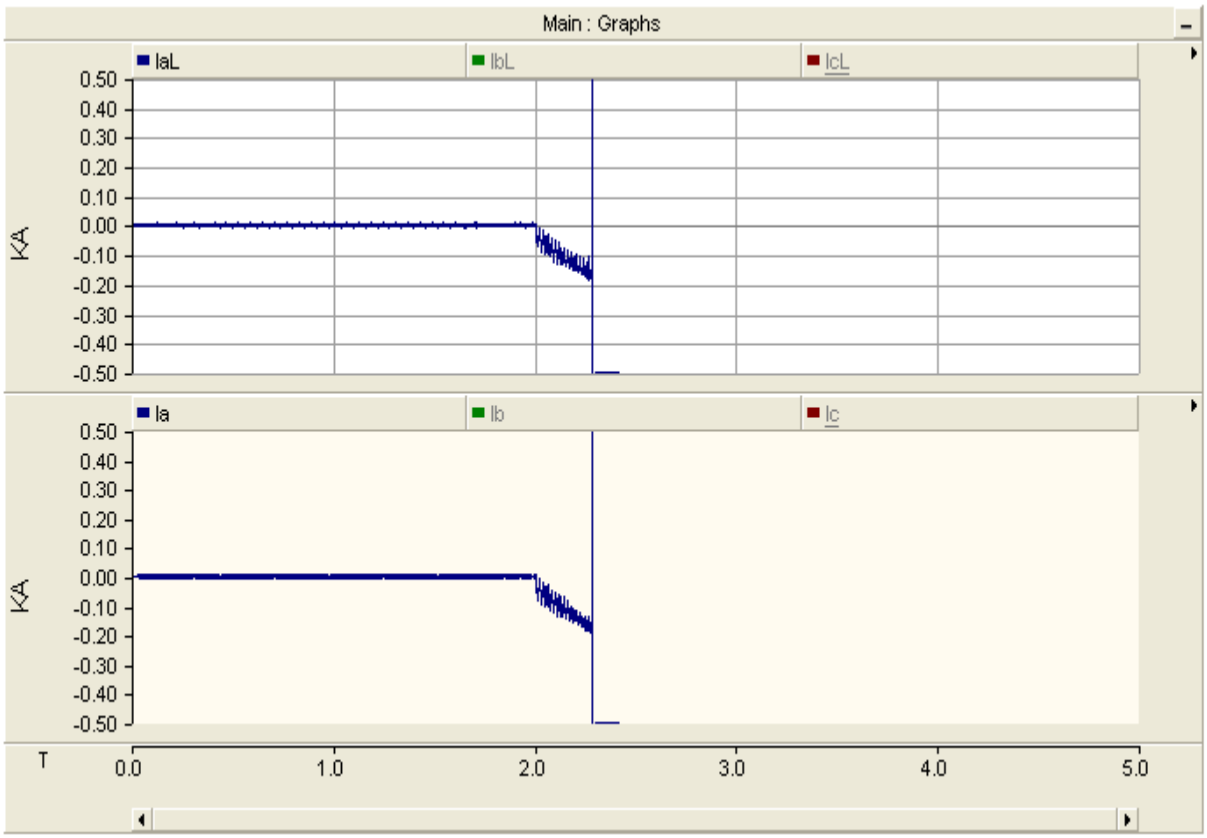




شکل (۴۷) نتایج حاصل از شبیه سازی UPQC

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه





شکل(۴۸) نتایج حاصل از شبیه سازی UPQC