طراحی و شبیه سازی جبرانسازهای استاتیکی بمنظور کنترل توان راکتیو و تثبیت پروفیل ولتاژ خطوط ۳ فاز، مبتنی بر TSC و TCR

عارف مطلبی مست[۱] - سید سیاوش کریمی مداحی[۲]

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد آشتیان ۲- استادیار گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آشتیان

نویسنده مسئول : عارف مطلبی مست

چکیده

با توجه به پیشرفت سریع و روزافزون تکنولوژی، مصرف انرژی الکتریکی نیز به طور مداوم افزایش می یابد و در حال تغییر است. یکی از مسائل بسیار مهم در سیستم های قدرت، تثبیت و تنظیم ولتاژ در نقاط مختلف و افزایش کیفیت توان انتقالی می باشد. اما در سیستم های انتقال به سبب دشوار بودن احداث خط جدید، مسائل اقتصادی و زیست محیطی، تجدید ساختار شبکه قدرت ، به میزان رشد مصرف انرژی الکتریکی، انجام نمی شود. یکی از روشهای دستیابی به تثبیت پروفیل ولتاژ، کنترل توان راکتیو می باشد. یکی از پیشرفته ترین ادوات کنترل توان راکتیو و بهبود سطح ولتاژ، جبرانسازهای استاتیکی خط (SVC) می باشد. در این مقاله با طراحی و شبیه سازی جبرانسازهای استاتیکی، توان راکتیو را به منظور تنظیم ولتاژهای شبکه کنترل می کنیم .

کلمات کلیدی: کنترل توان راکتیو، تثبیت پروفیل ولتاژ، سیستم های انتقال، جبرانسازیهای استاتیکی، رشد مصرف انرژی الکتریکی

۱- مقدمه

در یک سیستم قدرت ایده‌آل، ولتاژ و فرکانس در هر نقطه تغذیه ثابت و عاری از هارمونیک است. از آنجائی که امپدانس‌های اجزاء قدرت بطور غالب راکتیو می‌باشند، انتقال توان اکتیو مستلزم وجود اختلاف زاویه فاز بین ولتاژ ابتدا و انتهای خط است. در حالی که برای انتقال توان راکتیو لازم است که اندازه این ولتاژها متفاوت باشد. بنابراین ثابت نگهداشتن فرکانس توسط ایجاد توازن قدرت اکتیو بین منبع تولید و مصرف‌کننده تحقق می‌یابد و کنترل ولتاژ به وسیله نظارت بر میزان توان راکتیو مصرفی توسط بار حاصل می‌شود.یکی از مسائل بسیار مهم در سیستم‌های قدرت، این امر است که ولتاژ در نقاط مختلف ثابت بوده و جریان‌ها و ولتاژها عاری از هر گونه اغتشاش و هارمونیک باشند. به غیر از این موارد به دلایل اقتصادی و فنی می‌خواهیم ضریب توان تا حد امکان و با حداقل هزینه در نقاط مختلف شبکه به یک نزدیک شود. اما با توجه به گستردگی سیستم‌های قدرت مخصوصاً در بخش انتقال و فوق توزیع، دستیابی به شرائط مذکور به طور ایده‌آل غیرممکن می‌باشد. همانطور که ذکر شد یکی از روش‌های دستیابی به اهداف بالا کنترل توان راکتیو می‌باشد. تامین توان راکتیو در محل مناسب، می تواند مشکلات ناپایداری شبکه را حل کرد (فتاحی و همکاران،۱۳۹۱)[۱]. توان راکتیو اضافی در شبکه باعث می شود ظرفیت خط اشغال شود و توان اکتیو کمتری جابه جا شود. همچنین اگر در شبکه توان راکتیو به اندازه لازم (حدود ۰/۰۵ پریونیت) وجود نداشته باشد، با کوچکترین نوسانی شبکه دچار ناپایداری خواهد شد. روشهای زیادی به منظور جبرانسازی موجود می باشد که عبارتند از: نصب بانک های خازنی، نصب خازنهای سوئیچ شونده (TSC)، تولید توان راکتیو توسط ژنراتور در نیروگاه، جبرانسازهای استاتیکی (SVC) و ... . تولید توان راکتیو توسط ژنراتور در نیروگاه و یا بانکهای خازنی، زمانی که بحث تغییرات ناگهانی بار مطرح است، کاربرد چندان زیادی ندارد، چرا که این منابع بسیار کند عمل کرده و ممکن است شبکه دچار اغتشاش و ناپایداری شود (لرکی، فربد، مشکین لی و همایون ،۲۰۰۹)[۲]. همانطور که گفته شد یکی از راه های جبرانسازی، نصب SVC می باشد. یکی از پیشرفته‌ترین ادواتی که با افزایش روزافزون ساخت ادوات نیمه هادی با توان بالا به بازار عرضه شده است، جبرانسازهای استاتیکی SVC ها می‌باشد (T.Hiyama 2004)[۳]. به همین سبب در این مقاله به منظور کنترل توان راکتیو و تثبیت پروفیل ولتاژ از این نوع جبرانساز استفاده شده است، شبیه سازی انجام شده توسط نرم افزار Matlab/simulink بیانگر اظهارات گفته شده می باشد و تمام سطوح ولتاژی، میزان تغییرات توان راکتیو و شکل موجهای موجود قابل اثبات است.

۲- معرفی SVC بمنظور تنظیم ولتاژ خطوط AC

جبرانسازهای استاتیکی (Static Var Compensator)، در اوایل دهه هفتاد میلادی معرفی شدند (فتاحی و همکاران،۱۳۹۱)[۱]. ادواتی هستند که بطور موازی در سیستم جای می گیرند و در خانواده ادوات FACTS قرار دارند، و به سبب داشتن سلف و خازن می توانند تولید کننده و یا مصرف کننده توان راکتیو باشند و با استفاده از تکنولوژی الکترونیک قدرت کمبود و بیشبود توان را کنترل می کنند و در پایداری شبکه نقش بسزایی دارند (دهقانی، ۲۰۱۱)[۴]. SVC به منظور کنترل سطح پروفیل ولتاژ، بهبود کیفیت توان، افزایش پایداری شبکه، جلوگیری از فروپاشی سیستم و کنترل توان راکتیو استفاده می شود (فتاحی و همکاران،۱۳۹۱)[۱]. بنابراین درک صحیحی از عملکرد و کنترل صحیح این تجهیز بسیار مهم و ضروری است.

Archive of SID

www.SID.ir

در زیر محدودیت های محدودیت های SVC ذکر شده است.
محدودیت رنج کنترلی

$$I_{min} \leq I_{svc} \leq I_{max} \quad (۱)$$

$$V = V_{ref} - X_{sl} * I_{svc} \quad , V \geq V_{min} \quad (۲)$$

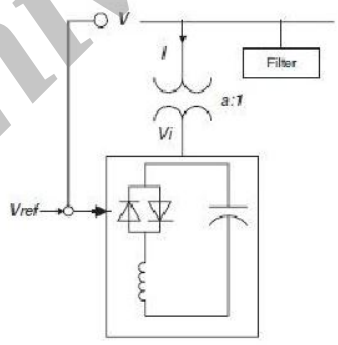
محدودیت کاپاسیتیو ($V < V_{min}$)

$$B = B_{max} \quad (۳)$$

محدودیت اندوکتیو ($I_{svc} > I_{max}$)

$$B = B_{min} \quad (۴)$$

که در آنها
V_{ref} : دامنه ولتاژ مرجع SVC
X_{st} : امپدانس مشخصه سیستم کنترلی
I_{svc} : جریان جبران کننده SVC
عملکرد SVC در شرایط مختلف بار می تواند همانند یک خازن و یا سلف عمل کند. انتخاب اندازه مناسب یکی از مسائل بسیار مهم در سیستم کنترلی SVC می باشد (R. M. M. Pereira , 2014)[۵]. در شکل (۱) ساختار اساسی جبرانساز SVC نشان داده شده است.



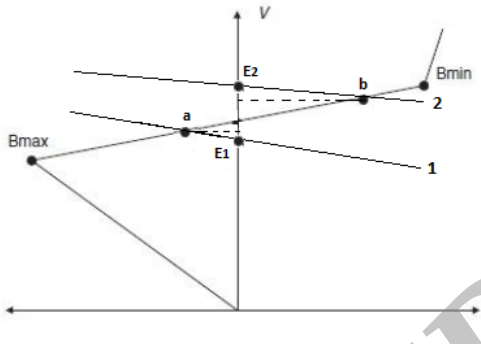
شکل ۱- ساختار اساسی SVC

۲-۱ تعیین پاسخ گذرای SVC

در یک SVC قطع و وصل خازنها با کلیدهای معمولی (CB) و یا در حالت پیشرفته تر توسط تریستور کنترل می شود. اگر در یک شبکه قدرت، اختلال ناگهانی در سیستم ایجاد شود، باعث تغییر در پروفیل ولتاژ می شود.(در این مثال فرض بر این بوده، شبکه دچار افزایش ولتاژ شده است)و خط بار سیستم از وضعیت ۱ به ۲ تغییر می کند، این افزایش ولتاژ، با مقدار مرجع مقایسه می شود و اختلاف آنها به سیستم کنترل گزارش می شود.از آنجایی که در این اختلال ولتاژ افزایش یافته است، احتمال می رود این رخداد ناشی از خارج شدن مقدار زیادی از بار شبکه و یا وجود توان راکتیو اضافی از بانکهای خازنی که به اشتباه در شبکه سوئیچ شده اند، باشد. در هر صورت سیستم کنترل این اضافه ولتاژ را تشخیص داده، و باید دستور اضافه کردن سلف را به SVC دهد. همانطور که در شکل (۲) مشاهده می شود، نقطه کار قبل از اختلال،a بوده است و بر اثر اختلال بوجود آمده، سیستم کنترل جبران کننده عمل کرده و نقطه

Archive of SID
www.SID.ir

کار جدید b بدست آمده است (احد کاظمی،۱۳۸۹)[۶]. قابل ذکر است که اگر جبران کننده ای در شبکه وجود نداشت، اختلاف ولتاژ E1 نسبت به E2 ، در مقایسه با Va نسبت به Vb بسیار زیاد است. در شکل (۲) پاسخ گذرای SVC مشاهده می شود.

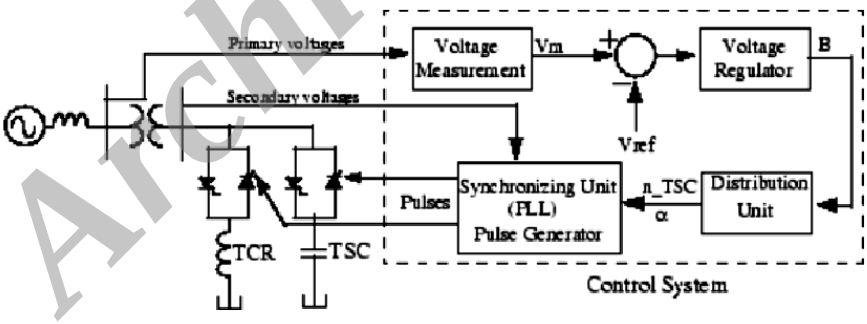


شکل ۲- پاسخ گذرای SVC

۳- سیستم کنترلی SVC

در شکل (۳)، دیاگرام تک خطی از یک نمونه SVC که توسط بلوک های کنترلی مشخص شده است، نشان داده می شود.سیستم کنترلی از قسمتهای زیر تشکیل می شود.

- سیستم اندازه گیری : که مقادیر لحظه به لحظه ولتاژ، توان و تعداد خازنهای موجود در سیستم را مشخص می کند.
- تنظیم کننده ولتاژ : این واحد ولتاژ لحظه به لحظه خط را اندازه گیری نموده و با مقدار مرجع خود مقایسه می کند و کمبود و بیشبود آنرا به واحد توزیع گزارش می دهد.
- واحد توزیع : این واحد وظیفه افزایش و کاهش اثرات سلفی و خازنی شبکه را بر عهده دارد. در این قسمت TSC و TCR متناسب به نیاز شبکه وارد سیستم می شود.
- واحد همگام سازی : در این قسمت مقدار سلف و خازن تشخیص داده شده توسط واحد توزیع، از نظر سنکرون بودن با شبکه آماده ورود به سیستم می شود.



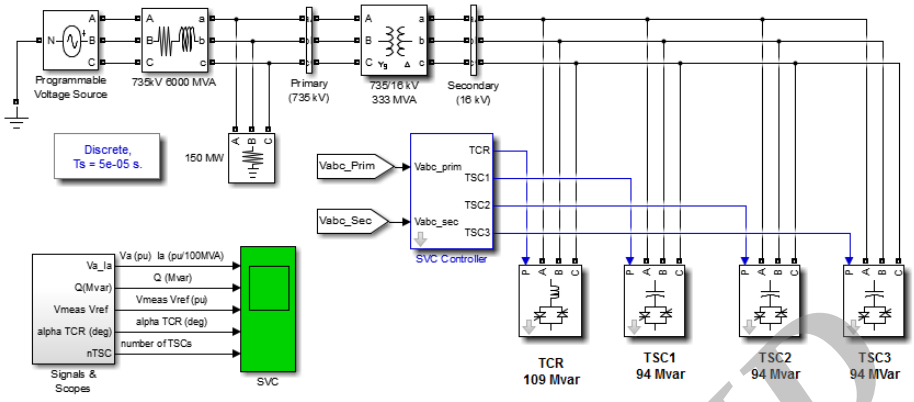
شکل ۳- دیاگرام تک خطی از یک نمونه SVC

۴- شبیه سازی

در این شبیه سازی از یک SVC به منظور تنظیم ولتاژ خطوط توزیع ۱۶ کیلوولت استفاده شده است. این SVC دارای ۳، TSC با توان ۹۴ مگاوار و یک TCR با توان ۱۰۹ مگاوار می باشد. شبکه مورد بررسی دارای یک منبع قابل برنامه ریزی با ولتاژ اولیه ۷۳۵ کیلوولت و توان ۶۰۰۰ مگا ولت آمپر می باشد. در این شبیه سازی ولتاژ اولیه منبع یعنی ۷۳۵ کیلوولت، ۱ پریونیت در نظر گرفته شده است. ولتاژ این منبع در زمان راه اندازی ۱ پریونیت، پس از گذشت ۰/۱ ثانیه ولتاژ آن به ۱/۰۲۵ پریونیت، در زمان ۰/۴ ثانیه ولتاژ آن به ۰/۹۳ پریونیت، و در زمان ۰/۷ ثانیه ولتاژ آن به ۱ پریونیت تغییر می یابد. همین تغیرات ولتاژ منبع باعث بروز تغییراتی در سطح پروفیل ولتاژ شده که سیستم کنترلی SVC، تمام این تغییرات ولتاژ را اعم از، افزایش و کاهش را تشخیص می دهد و متناسب با آن سلف و یا خازن وارد شبکه می کند. در این سیستم از یک ترانس ۲ سیم پیچه با اتصال ستاره مثلث به منظور کاهش ولتاژ از ۷۳۵ به ۱۶ کیلوولت استفاده شده است. همچنین این سیستم در ولتاژ ۷۳۵ کیلوولت یک بار اهمی ۱۵۰ مگاواتی را نیز تامین می کند. فرکانس سیستم ۶۰ هرتز و مدت

Archive of SID
www.SID.ir

شبیه سازی ۱ ثانیه می باشد. یک اسکوپ نیز، تمامی مقادیر اعم از جریان، ولتاژ، توان راکتیو شبکه، مقایسه ولتاژ شبکه، ولتاژ مرجع، زاویه TCR و تعداد TSC های موجود در شبکه را لحظه به لحظه نشان می دهد. شکل (۴) مدار نمونه شبیه سازی SVC را نشان می دهد.



شکل ۴- مدار نمونه شبیه سازی SVC

۴-۱ نتایج شبیه سازی

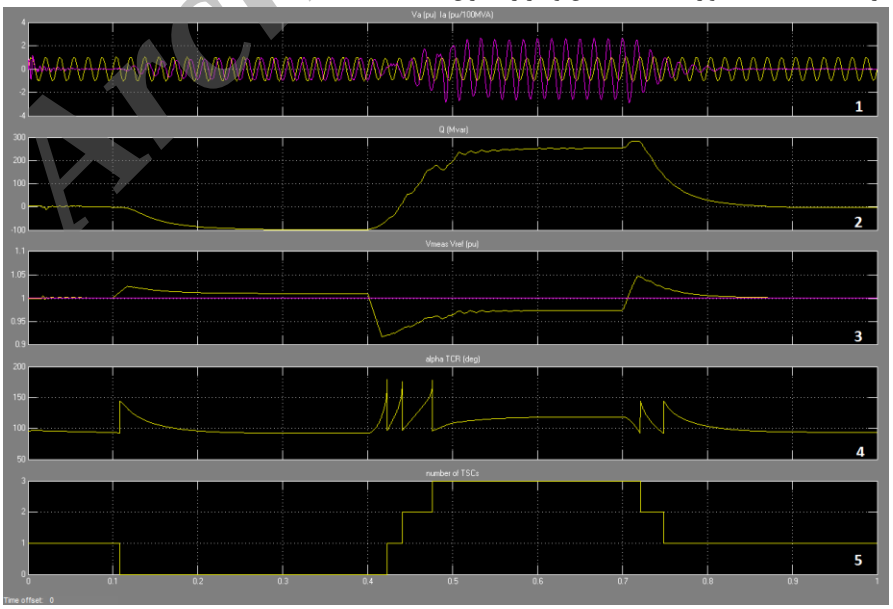
پس از اجرای شبیه سازی به نتایج زیر دست می یابیم. در شکل (۵)، تمامی مقادیر ثبت شده توسط اسکوپ نشان داده شده است.

منحنی ۱)

نشان دهنده شکل موج ولتاژ و جریان شبکه می باشد، که بیشترین تغییرات را در زمان ۰/۴ ثانیه و در زمانی که ولتاژ شبکه افت پیدا می کند از خود نشان می دهد، همچنین در این لحظه پس از حضور TSC در شبکه جریان دارای اغتشاش می شود و حالت گذرای خود را طی می کند و پس از گذشت چند سیکل به حالت اولیه خود باز می گردد.

منحنی ۲)

مربوط به تغییرات توان راکتیو می باشد. این کنحنی در بعضی نقاط منفی و در بعضی نقاط مثبت می باشد. زمانی که مقدار منفی از خود نشان می دهدبدین معنی است که توان اکتیو دارای کمبودی نمی باشد، و مقداری اضافه ولتاژ نیز خواهیم داشت، از این رو نه تنها TSCدر مدار وجود ندارد،(چون سیستم با اضافه ولتاژ روبه رو است.) بلکه نیاز به TCR هم می باشد. و اگر در این لحظه به شکل موج (۴) دقت شود می بینیم که زاویه TCR نیز افزایش یافته و مقدار بیشتری سلف وارد شبکه شده تا اضافه ولتاژ شبکه را کاهش دهد. همچنین زمانی که شکل موج (۲)، مقدار توان راکتیو را مثبت نشان می دهد، به این معنی است که شبکه با کاهش ولتاژ مواجه شده و نیاز به توان راکتیو و یا افزایش ولتاژ دراد. در این شبیه سازی بیشترین کاهش ولتاژ در زمان ۰/۴ ثانیه می باشد که در این لحظه هر ۳ TSC به شبکه وارد شده تا کاهش ولتاژ را جبران کند.



منحنی ۳)

Archive of SID
www.SID.ir

در این منحنی مقدار ولتاژ رفرنس با ولتاژ خط اندازه گیری شده، مقایسه می شود و کمبود و بیشبود آن نیز مشخص می شود.

منحنی ۴)

در این منحنی اندازه زاویه TCR مشخص شده است که در زمان افزایش و کاهش ولتاژ شبکه، این زاویه نیز افزایش و کاهش می یابد.

منحنی ۵)

این منحنی نشان دهنده تعداد حضور TSC در شبکه می باشد، که در زمان کاهش ولتاژ بیشترین تعداد TSC و در زمان افزایش ولتاژ کمترین تعداد TSCدر شبکه وارد و یا خارج می شود.

۵-نتیجه گیری

پیشرفت در تکنولوژی ، مانند تجهیزات حساس کارگاهی، صنعتی و مسکونی باعث شده تا مقررات پیرامون کیفیت توان روز به روز حساس تر و دقیق تر شوند. چرا که با وجود اختلالی کوچک در شبکه برق قدرت امکان آسیب، خرابی و از کار افتادن ادوات و سیستم های پیچیده را وجود دارد. این پژوهش نشانگر راه حل مناسب به منظور جلوگیری از آسیبها و تاثیر اغتشاشات بروی دستگاههای پیچیده دیجیتالی مورد استفاده در صنعت، مراکز مخابراتی ، آزمایشگاهها و ..... است. در این مقاله طراحی و شبیه سازی SVC به منظور کنترل توان راکتیو و پایداری استاتیکی ولتاژ، با استفاده از TSC و TCR صورت گرفت. SVC وسیله ای برای فراهم کردن عملکرد بهتر به منظور کاهش تلفات و تثبیت پروفیل ولتاژ می باشد. نتایج مدل اظهار شده در این مقاله ، توسط شبیه ساز MATLAB/simulink مورد تائید و قابل اثبات می باشد.

۶-مراجع

[۱] فتاحی ح، عبدی ح، زرینی تبار الف، ۱۳۹۱،" بررسی تاثیر ادوات مختلف FACTS بر پایداری ولتاژ"، اولین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق،ص ۱۰۰۴-۱۰۰۹

[۲] لرکی ف، مشکین لکی ه، ۲۰۰۹،" افزایش پایداری استاتیکی ولتاژ در شبکه برق منطقه ای خوزستان با اشتفاده از ادوات FACTS موازی"،بیستوچهرمین کنفرانس ملی برق

[۳] Hiyama. T 2004, " Coordinated Active and Reactive PowerRegulation on Energy Capacitor System forStabilization of Electric Power Systems",pp1234-1237

[۴] دهقانی ح، ۲۰۱۱،" بهبود پایداری در سیستم های قدرت جهت جلوگیری از Blackoutبا استفاده از PSS و ادوات FACTS "،دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ص ۲-۳

[۵] R. M. M. Pereira,2014"Comparative Study of STATCOM and SVC Performance on Dynamic Voltage Collapse of an Electric Power System with Wind Generation"pp 138-144

[۶] کاظمی الف، ۱۳۸۹،"سیستم های قدرت الکتریکی"، ص ۱۲۶-۱۳۰

Archive of SID

www.SID.ir