ارائه یک الگوریتم جدید تغییر سریع حالت کارکرد و کنترل TCSC

مجید نیری‌پور و محمدمهدی منصوری

چکیده: خازن سری کنترل‌شده با تریستور (TCSC) به‌عنوان جبران‌کننده سری خطوط انتقال در حالت خازنی نقش مهمی در افزایش بارپذیری، کاهش تلفات و بهبود پایداری سیستم دارد. از طرفی انتقال سریع از حالت عملکرد خازنی به سلفی و بالعکس در این المان نقش بسیار مهمی در بهبود پایداری گذرا و افزایش زمان رفع بحرانی خطا دارد که تاکنون چندان مورد توجه قرار نگرفته است. در این مقاله یک روش کاملاً جدید و سریع جهت تغییر وضعیت TCSC از حالت خازنی به سلفی و برعکس ارائه شده است که قادر است در کمتر از نیم‌سیکل حالت کارکرد TCSC را تغییر دهد. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده سرعت بسیار بیشتر این روش نسبت به سایر روش‌های موجود بوده که نقش بسیار مهمی در بهبود پایداری‌ها به‌خصوص پایداری گذرا خواهد داشت.

کلید واژه: **سیستم‌های انتقال انعطاف‌پذیر AC (FACTS)، خازن سری کنترل‌شده با تریستور (TCSC)، عملکرد حالت خازنی و سلفی در TCSC، کلیدزنی، پایداری گذرا.**

۱- مقدمه

جبران‌سازی و افزایش سرعت پاسخ یک سیستم و همچنین بهبود انواع پایداری از اهداف اصلی استفاده از ادوات FACTS در سیستم‌های قدرت می‌باشد. TCSC به‌عنوان یکی از مهم‌ترین این ادوات قابلیت‌های زیادی از جمله توانایی در کاهش و یا افزایش راکتانس، افزایش ظرفیت خط و توان انتقالی و بهبود پایداری گذرا و دینامیکی در سیستم‌های قدرت را دارا می‌باشد [۱].

در مراجع مختلف از TCSC بیشتر به‌منظور بهبود پایداری دینامیکی استفاده شده است و بسیاری از این مراجع از مدل‌های متوسط امپدانسی و یا منبع وابسته برای مدل‌سازی TCSC استفاده نموده‌اند که برای مطالعات پایداری دینامیکی کفایت می‌نماید [۲] و [۳] و در برخی نیز از TCSC برای بهبود پایداری گذرا در اولین نوسان استفاده نموده‌اند [۴].

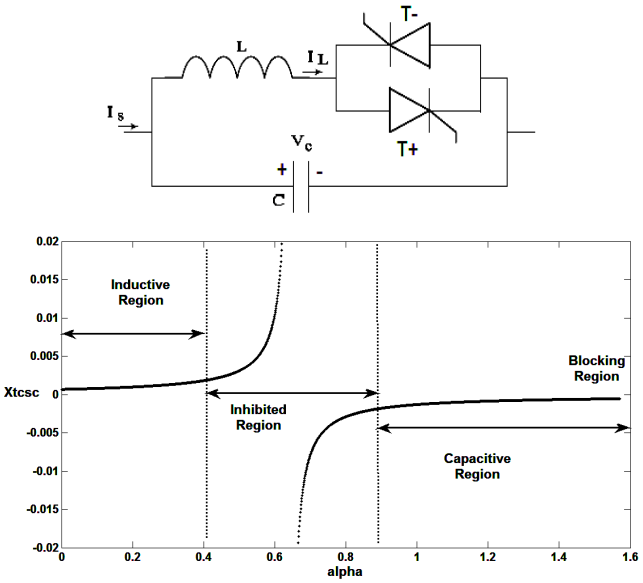
TCSC با توجه به وضعیت کلیدزنی در سوئیچ‌های آن می‌تواند در یکی از حالت‌های خازنی[1]، سلفی[2]، قطع[3] و یا گذر[4] عمل نماید. در هر یک از حالت‌های خازنی و یا سلفی با تغییر زاویه آتش تریستورها، مقدار امپدانس خازنی یا سلفی این جبران‌کننده به‌صورت پیوسته تغییر

این مقاله در تاریخ ۵ دی ماه ۱۳۹۰ دریافت و در تاریخ ۸ خرداد ماه ۱۳۹۱ بازنگری شد.

مجید نیری‌پور، دانشکده برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز (email: nayeri@sutech.ac.ir).

محمدمهدی منصوری، دانشکده برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز (email: mansuri5m@sutech.ac.ir).

1. Capacitive
2. Inductive
3. Blocking
4. Bypass



شکل ۱: حالت‌های کارکرد TCSC و ناحیه ممنوعه امپدانسی.

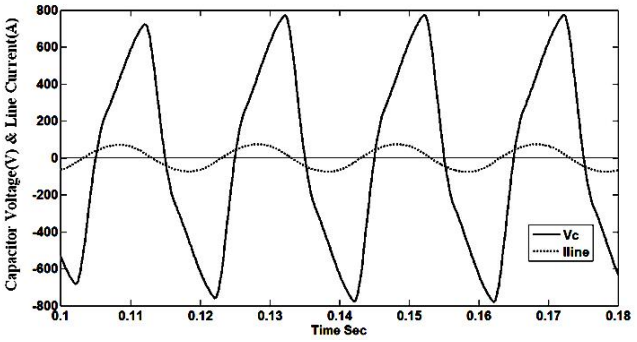
می‌کند. به‌علت وجود ناحیه ممنوعه (تشدید بین المان‌های TCSC) تغییر پیوسته امپدانس از حالت سلفی به خازنی و برعکس ممکن نیست (شکل ۱) [۱].

با توجه به آن که معمولاً امپدانس خطوط انتقال سلفی می‌باشند، غالباً به‌منظور جبران و کنترل خط از TCSC در حالت کارکرد خازنی استفاده شده است و تغییر حالت خازنی و سلفی بررسی نشده است [۵] در حالی که تغییر حالت کارکرد مستقیم از خازنی به سلفی و برعکس می‌تواند نقش مهمی در بهبود پایداری گذرا و حتی دینامیکی داشته باشد. این تغییر امپدانس جهت کنترل پایداری گذرا و تا حدی دینامیکی از این جهت در شبکه می‌تواند بسیار مهم باشد که به‌طور نمونه در هنگام وقوع خطا به‌منظور کاهش جریان خط انتقال مناسب است که با سرعت بسیار زیادی عملکرد خازنی موجود به سلفی تغییر وضعیت دهد و یا بعد از برطرف‌شدن خطا، سریع از حالت سلفی به خازنی برویم. در سایر حالت‌های دینامیکی نیز این موضوع می‌تواند در میراسازی نوسانات توان مؤثر باشد [۴] تا [۷].

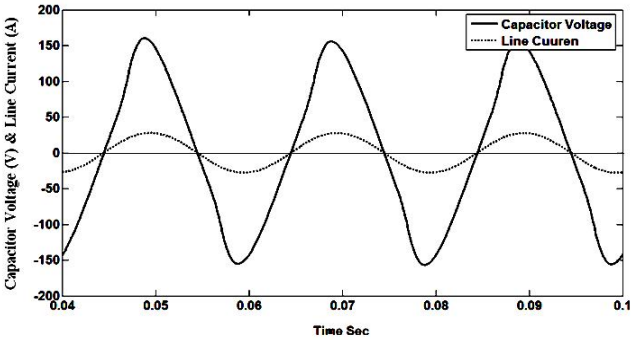
علی‌رغم آن که TCSC به‌طور مستقیم با کنترل زاویه آتش تریستورها عمل می‌کند، تاکنون از دیدگاه کلیدزنی تریستوری و کنترل در سطح زمان هر سیکل در مراجع کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. به‌طور نمونه در [۵] برای میراسازی نوسانات توان از تغییر حالت کارکرد TCSC نام برده نشده و بیشترین تلاش برای میراسازی نوسان توان (POD) انجام شده است، در حالی که کارکرد TCSC در حالت سلفی می‌تواند در کاهش نوسانات توان تأثیر به‌سزائی داشته باشد. در بررسی اولیه مراجع موجود ابتدا به نظر می‌رسد که امکان کنترل TCSC به‌صورت سریع‌تر از روش‌های ارائه‌شده تاکنون وجود ندارد و در همان ابتدای پژوهش‌ها و بررسی‌ها ناحیه کارکرد سلفی کنار گذاشته شده

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲: پیش‌فاز بودن جریان خط نسبت به ولتاژ خازن جهت کارکرد خازنی TCSC.



شکل ۳: جریان خط و ولتاژ خازن جهت کارکرد سلفی TCSC.

است [۷]. با توجه به آن که در اغتشاش‌ها، تغییرات جریان خط انتقال سرعت بیشتری نسبت به فرکانس اصلی شبکه دارد، تغییر حالت کارکرد TCSC در کمتر از یک سیکل می‌تواند اغتشاش‌ها را محدود و کنترل نماید. این موضوع تاکنون تنها در [۸] مورد بررسی قرار گرفته است که روش پیشنهادی آن جهت تغییر حالت کارکرد TCSC حداقل دو نیم‌سیکل تأخیر دارد. در [۸] به‌منظور تغییر حالت کارکرد از خازنی به سلفی با توجه به محدودیت روش، یک نیم‌سیکل فرمان به تریستورها داده نمی‌شود و گفته شده که حتی اگر فرمانی داده شود، عملکردی نخواهیم داشت. این تأخیر به اضافه تأخیر نیم‌سیکل عملکرد ذاتی TCSC باعث از دست دادن یک سیکل کنترل TCSC خواهد شد.

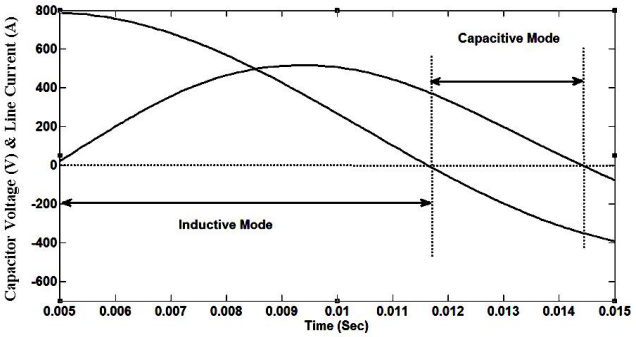
در [۹] تنها روشی بر اساس سنکرون‌سازی سیگنال‌های آتش با منبع ac مورد بررسی قرار گرفته است که با توجه به تغییرات بار در شبکه و جابه‌جایی ضریب قدرت خط در پاسخ‌های گذرا عملکرد مناسبی نخواهد داشت و همچنین هیچ‌گونه روشی برای تغییر حالت کارکرد TCSC در این مرجع ارائه نگردیده است.

در این مقاله که در واقع ادامه کار [۸] را دنبال می‌کند، روشی جدید و ابتکاری برای تغییر حالت کارکرد TCSC در کمتر از یک سیکل ارائه شده است. از طرفی چنانچه به‌علت اغتشاش بزرگ و یا نوسان، زمان عبور از صفر جریان خط زودتر یا دیرتر اتفاق بیفتد، این روش به همان نسبت و به‌منظور بهبود پایداری گذرا، در صورت نیاز حالت کارکرد TCSC را سریعاً تغییر می‌دهد که [۸] و [۹] این توانایی را ندارند و هنگام وقوع خطا و اغتشاش در شبکه حالت کارکرد خود را گم می‌کنند.

۲- بررسی دقیق حالت‌های کارکرد خازنی و سلفی TCSC

به‌منظور ارائه یک استراتژی قوی و کارآمد در بهبود پایداری گذرا لازم است که عملکرد TCSC در حالت‌های مختلف به‌طور دقیق مورد بررسی قرار گیرد:

www.SID.ir



شکل ۴: فاصله‌های زمانی امکان‌پذیر در عملکرد سلفی و خازنی.

عملکرد خازنی: برای داشتن عملکرد خازنی و یا ایجاد تغییر در این حالت مطابق شکل ۲ لازم است جریان خط نسبت به ولتاژ خازن پیش‌فاز باشد. در صورت تحقق چنین شرطی، با کلیدزنی مناسب تریستور (تریستور منفی (T^-) در صورتی که ولتاژ خازن در نیم‌سیکل منفی خود و یا تریستور مثبت (T^+) در صورتی که ولتاژ خازن در نیم‌سیکل مثبت خود قرار داشته باشد)، TCSC در حالت خازنی کار خواهد نمود.

عملکرد سلفی: برای این که TCSC بتواند در حالت سلفی کلیدزنی انجام دهد، باید مطابق شکل ۳ جریان خط نسبت به ولتاژ خازن پس‌فاز باشد. در صورت تحقق چنین شرطی، با کلیدزنی مناسب تریستور (تریستور منفی (T^-) در صورتی که ولتاژ خازن در نیم‌سیکل منفی خود و یا تریستور مثبت (T^+) در صورتی که ولتاژ خازن در نیم‌سیکل مثبت خود قرار داشته باشد)، TCSC در حالت سلفی کار خواهد نمود.

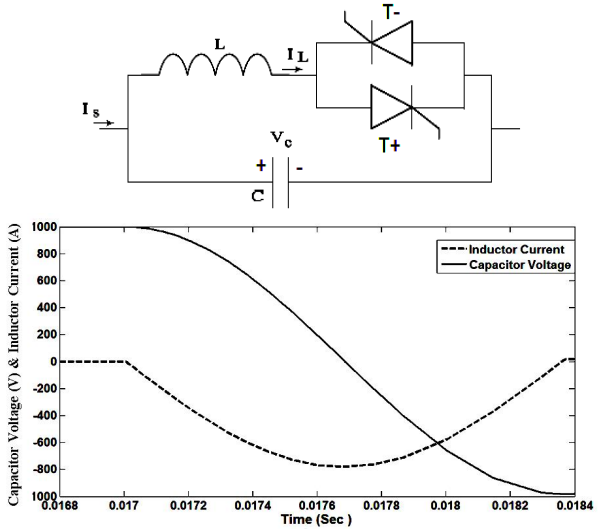
در صورتی که یکی از شرایط فوق برقرار باشد بعد از اولین عبور از صفر جریان می‌توان به تریستور مناسب در زاویه آتش تعیین‌شده، فرمان داد و TCSC را در حالت کارکرد مورد نظر قرار داد.

در واقع شرط اولیه سوئیچ‌زنی، داشتن ولتاژ مثبت دو سر سوئیچ (تریستور) می‌باشد. بنابراین در نیم‌سیکلی که ولتاژ خازن مثبت است تریستور مثبت (T^+) و نیم‌سیکلی که ولتاژ خازن منفی است تریستور منفی (T^-) امکان روشن‌شدن را دارد. این شرط برای هر یک از دو حالت عملکرد خازنی و سلفی به‌صورت جزئی‌تر و محدودتری به‌صورت زیر بیان می‌شود:

۱) برای ایجاد عملکرد خازنی که ولتاژ خازن نسبت به جریان خط منفی می‌باشد، لازم است در ربع‌سیکلی (از نیم‌سیکلی که شرط اولیه روشن‌شدن را داشت) که ولتاژ خازن مثبت و جریان خط منفی است، تریستور مثبت (T^+) و یا در ربع‌سیکلی (از نیم‌سیکلی که شرط اولیه روشن‌شدن را داشت) که ولتاژ خازن منفی و جریان خط مثبت است، تریستور منفی (T^-) روشن گردد. این کار باعث افزایش ولتاژ دو سر خازن نسبت به حالت بدون سوئیچینگ شده و شرایط امپدانس خازنی بیشتر از راکتانس اصلی خازن $(1/C\omega)$ را ایجاد می‌کند.

۲) برای ایجاد عملکرد سلفی که جریان خط نسبت به ولتاژ خازن پس‌فاز می‌باشد، لازم است در ربع‌سیکلی (از نیم‌سیکلی که شرط اولیه روشن‌شدن را داشت) که ولتاژ خازن و جریان خط مثبت هستند، تریستور مثبت (T^+) و یا در ربع‌سیکلی (از نیم‌سیکلی که شرط اولیه روشن‌شدن را داشت) که ولتاژ خازن و جریان خط منفی هستند، تریستور منفی (T^-) روشن گردد. این کار باعث کاهش ولتاژ دو سر خازن شده و شرایط امپدانس سلفی را برای راکتانس خازن (C) موازی با TCR ایجاد می‌نماید.

شرایط دو گانه فوق در شکل ۴ نشان داده شده است. حال اگر شرایط



شکل ۵: مدار رزونانس LC و نیم‌سیکل رزونانس مدار LC و تغییر ولتاژ.

فوق برقرار نبود یعنی برای ورود به حالت سلفی، جریان خط پس‌فاز نبود و یا برای ورود به حالت خازنی جریان پیش‌فاز نبود چه کاری باید انجام داد. در [۸] پیشنهاد شده است که برای تغییر کارکرد بین حالت‌های خازنی به سلفی در یک نیم‌سیکل به تریستورهای مورد نظر فرمان داده نشود. همچنین در این مرجع برای رفع این مشکل پیشنهاد گردیده است که از حالت‌های کارکرد میانی استفاده کنیم. مثلاً از حالت خازنی به حالت گذر برویم و سپس به حالت سلفی برویم که حداقل زمان سه نیم‌سیکل برق شهر را از دست می‌دهیم. به‌عبارت دیگر برای خروج از حالت کارکرد خازنی یک نیم‌سیکل فرمان به تریستورهای ایجادکننده این حالت نمی‌دهیم، سپس نیم‌سیکل بعد به تریستور مناسب برای ورود به حالت گذر فرمان می‌دهیم و در نیم‌سیکل سوم به تریستور مناسب برای رفتن به حالت سلفی در زاویه آتش تعیین شده، فرمان می‌دهیم.

۳- روش پیشنهادی به‌منظور افزایش سرعت تغییر حالت کاری

مدار معادل TCSC را می‌توان به‌عنوان یک مدار تشدید موازی LC در نظر گرفت. مطابق شکل ۵ می‌توان با فرمان‌دادن به تریستور مناسب مدار تشدید حاصله را تحریک نمود و چون هر تریستور به‌صورت یک‌طرفه اجازه عبور در مسیر تشدید می‌دهد، این مدار در نیم‌سیکل با فرکانس $1/(2\pi.\sqrt{LC})$ تشدید می‌نماید تا تریستور مورد نظر خاموش گردد. حاصل این نیم‌سیکل تشدید، تعویض سریع‌تر پلاریته ولتاژ خازن در فاصله کوتاه نیم‌پریود تشدید است.

در این مقاله از این روش به‌منظور تغییر حالت کارکرد TCSC و ایجاد شرایط لازم قسمت قبل در هر وضعیت استفاده شده است. با استفاده از این روش در صورتی که ولتاژ خازن و جریان خط شرایط مناسب، برای ایجاد کارکرد خازنی و یا سلفی را نداشته باشند، در کمتر از نیم‌سیکل می‌توان پلاریته خازن را تغییر داد و شرایط مناسبی برای کارکرد TCSC در وضعیت خواسته‌شده را فراهم نمود.

۴- کلیدزنی و تعیین حالت کارکرد TCSC

در روش جدید ارائه‌شده در این مقاله فرمان زاویه آتش به‌منظور تعیین و یا تغییر وضعیت حالت کارکرد TCSC با استفاده از روش بیان‌شده در قسمت قبل بر مبنای قوانین کلی زیر صورت می‌گیرد:

- در حالت‌های کارکرد دائمی همواره کلیدزنی و اعمال زاویه آتش تریستورها بعد از عبور از صفر جریان خط صورت خواهد گرفت (به‌صورت سنکرون با جریان خط).
- در شرایط تغییر وضعیت حالت‌های کارکرد، می‌توان قبل از عبور از صفر جریان و به‌منظور ایجاد شرایط کارکرد در حالت جدید و افزایش سرعت، کلیدزنی تریستورها را بدون حالت سنکرون انجام داد.

قوانین کلی فوق برای هر یک از دو حالت عملکرد خازنی و سلفی به‌صورت زیر پیاده‌سازی می‌شوند:

الف) اگر حالت کارکرد خازنی مورد نظر باشد و ولتاژ خازن و جریان خط مختلف‌العلامه بودند، بعد از عبور از صفر جریان:

- اگر علامت جریان مثبت و علامت ولتاژ منفی بود، بعد از زمان α/ω (از عبور از صفر جریان خط) تریستور منفی روشن شود (α زاویه آتش تریستور نسبت به صفر جریان می‌باشد).
- اگر علامت جریان منفی و علامت ولتاژ مثبت بود، بعد از زمان α/ω (از عبور صفر جریان خط) تریستور مثبت روشن شود.
- اگر خارج از این دو حالت بود شرایط کارکرد خازنی فراهم نیست (ولتاژ و جریان خط مختلف‌العلامه نیستند) و به رویه تغییر شرایط و ایجاد شرایط کارکرد خازنی باید رفت.

ب) اگر حالت کارکرد سلفی مورد نظر باشد و ولتاژ خازن و جریان خط هم‌علامت بودند:

- اگر علامت جریان مثبت و علامت ولتاژ نیز مثبت بود بعد از زمان α/ω (از عبور صفر جریان خط) تریستور مثبت روشن شود.
- اگر علامت جریان منفی و علامت ولتاژ نیز منفی بود بعد از زمان α/ω (از عبور از صفر جریان خط) تریستور منفی روشن شود.
- اگر خارج از این دو حالت بود شرایط کارکرد سلفی فراهم نیست و به رویه تغییر شرایط و ایجاد شرایط کارکرد سلفی باید رفت.

ج) تغییر شرایط کارکرد:

اگر شرایط کارکرد خازنی نیاز است و شرایط بند الف وجود ندارد:

- اگر علامت جریان منفی و علامت ولتاژ نیز منفی بود، تریستور منفی فرمان بگیرد تا ولتاژ فوراً معکوس گردد و شرایط برای کارکرد خازنی ایجاد شود.
- اگر علامت جریان مثبت و علامت ولتاژ نیز مثبت بود، تریستور مثبت فرمان بگیرد تا ولتاژ فوراً معکوس گردد و شرایط برای کارکرد خازنی ایجاد شود.

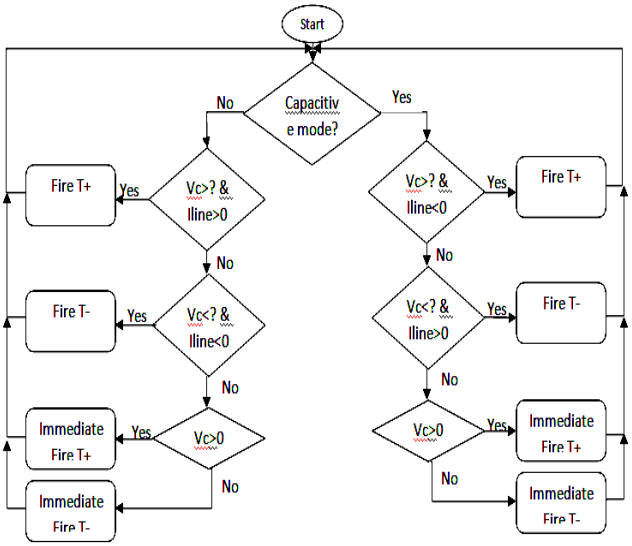
اگر شرایط کارکرد سلفی نیاز است و شرایط بند ب وجود ندارد:

- اگر علامت جریان مثبت و علامت ولتاژ منفی بود، تریستور منفی فرمان بگیرد تا ولتاژ معکوس گردد و شرایط برای کارکرد سلفی ایجاد شود.
- اگر علامت جریان منفی و علامت ولتاژ مثبت بود، تریستور مثبت فرمان بگیرد تا ولتاژ فوراً معکوس گردد و شرایط برای کارکرد سلفی ایجاد شود.

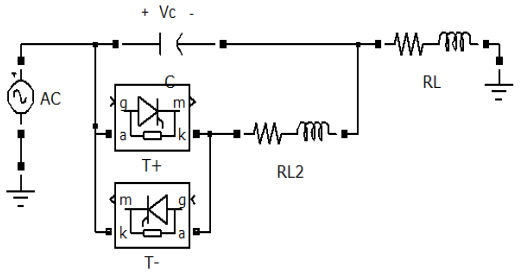
شکل ۶ فلوچارت الگوریتم به‌کار برده شده به‌منظور بیشترین افزایش سرعت تغییر وضعیت TCSC از حالت سلفی به خازنی و برعکس را نشان می‌دهد.

شرایط لازم برای عملکرد مناسب روش پیشنهادی علاوه بر تشخیص پلاریته ولتاژ خازن و جریان، در نظر گرفتن زمان لازم برای عملکرد مدار تشدید LC است. همان‌گونه که در بخش سوم بیان شد با تحریک مدار LC، این مدار به مدت نیم‌سیکل با زمان $\pi.\sqrt{LC}$ ثانیه نیم‌سیکل نوسان

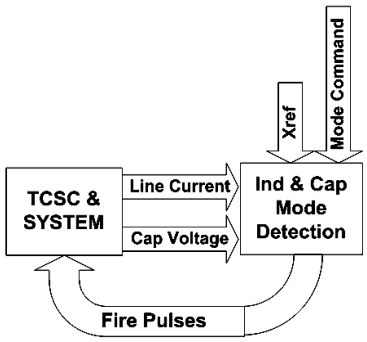
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۶: فلوچارت الگوریتم ارائه‌شده به‌منظور بیشترین افزایش سرعت تغییر وضعیت TCSC.



شکل ۷: مدار معادل شبیه‌سازی شده.



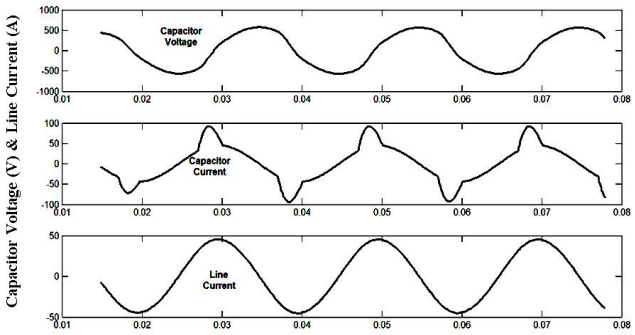
شکل ۸: بلوک دیاگرام شبیه‌سازی.

خواهد نمود که نتیجه آن معکوس‌شدن پلاریته ولتاژ خازن و آمادگی مدار جهت تغییر وضعیت کارکرد TCSC است. لذا از شرایط اصلی کارکرد روش پیشنهادی، داشتن حداقل زمانی به اندازه $\pi.\sqrt{LC}$ برای تغییر وضعیت ولتاژ خازن است.

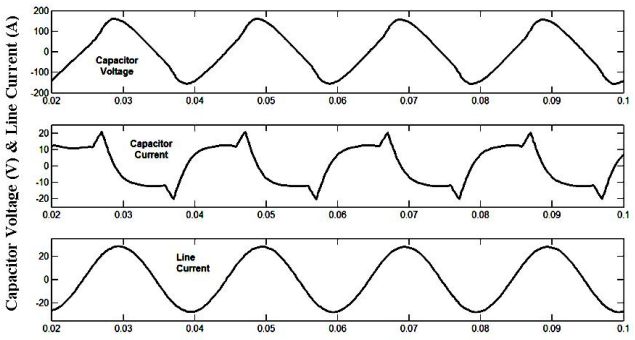
شرط دیگر داشتن حداقل ولتاژی در خازن در موقع تحریک مدار LC است که این حداقل ولتاژ بتواند مدار تحریک را راه تغذیه نماید.

۵- شبیه‌سازی

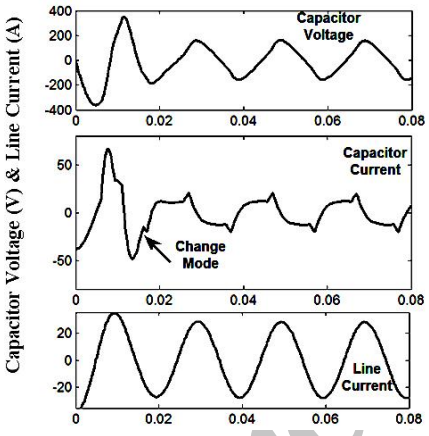
برای شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی از مدار [۸] همراه با داده‌های مربوطه آن مطابق شکل ۷ استفاده شده است که در محیط MATLAB/SIMULINK به‌صورت شکل ۸ نشان داده شده است. ظرفیت خازن ۳۴۰ uF، سلف ۵/۵ mH، بار با مقاومت ۱ Ω و سلف ۱۱۲ mH است. فرکانس رزونانس مدار تشدید LC برابر ۱۱۶ هرتز، نسبت راکتانس سلفی به خازنی ۰/۱۸۴ و فرکانس شبکه ۵۰ هرتز



شکل ۹: شکل موج‌های ولتاژ و جریان TCSC در حالت خازنی.



شکل ۱۰: کنترل TCSC در حالت سلفی.



شکل ۱۱: تغییر حالت کارکرد TCSC از خازنی به سلفی در کمتر از نیم‌سیکل.

می‌باشد. به‌منظور بررسی و کارآمد بودن روش ابتدا دو حالت عملکرد خازنی و سلفی به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس دو حالت دیگر انتقال از حالت خازنی به سلفی و برعکس مورد بررسی و نتایج با روش ارائه‌شده در [۸] مقایسه گردیده است.

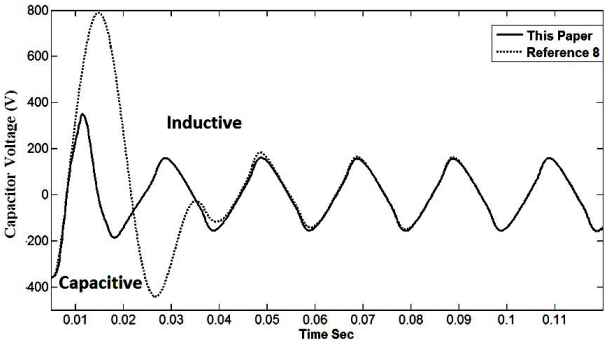
مطالعه اول: شرایط کارکرد خازنی

در صورتی که پیش‌فاز بودن جریان خط نسبت به ولتاژ خازن جهت کارکرد خازنی TCSC برقرار باشد، در این حالت پالس‌های کلیدزنی به‌صورت پریودیک برای تریستورهای مثبت و منفی طبق الگوریتم بیان‌شده اعمال می‌شود. این روش شبیه‌سازی گردیده است و نتایج در شکل ۹ نشان داده شده است.

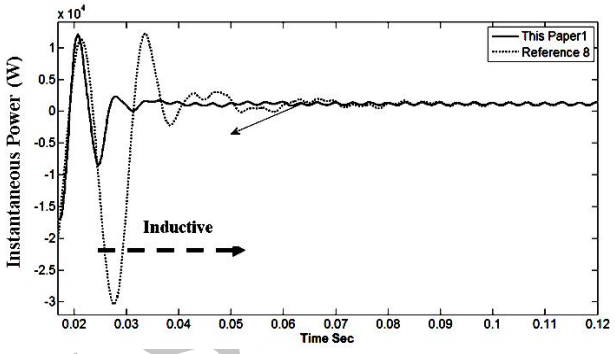
مطالعه دوم: کارکرد سلفی

در صورتی که پس‌فاز بودن جریان خط نسبت به ولتاژ خازن جهت کارکرد خازنی TCSC برقرار باشد، در این حالت پالس‌های کلیدزنی به‌صورت پریودیک برای تریستورهای مثبت و منفی طبق الگوریتم بیان‌شده اعمال می‌شود. کارکرد سلفی با روش پیشنهادی شبیه‌سازی شده است و نتایج آن در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۲: مقایسه ولتاژ خازن بین روش پیشنهادی با روش ارائه‌شده در [۸].



شکل ۱۳: بررسی پاسخ تغییرات توان و مقایسه روش پیشنهادی با [۸].

مطالعه سوم: تغییر حالت از خازنی به سلفی

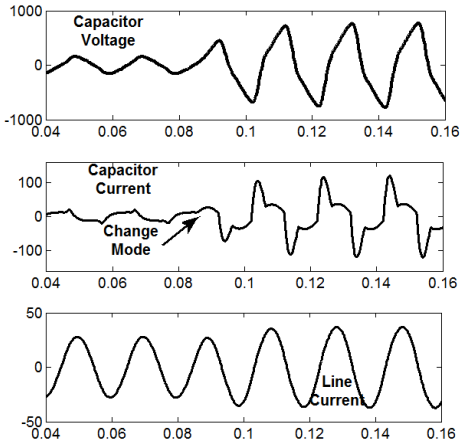
در شکل ۱۱ در ابتدا وضعیت به‌نحوی است که بعد از عبور از صفر جریان خط در حالی که جریان خط مثبت است، ولتاژ خازن منفی است و امکان ایجاد حالت سلفی برای TCSC وجود ندارد. با فرمان زودتر از موعد در زمان Sec ۰/۰۱۶ تغییر حالت کارکرد از خازنی به سلفی صادر شده است که در زمانی کمتر از Sec ۰/۰۰۱ این وضعیت اتفاق افتاده است. لذا ولتاژ خازن معکوس شده و شرایطی ایجاد شده که در جریان مثبت، ولتاژ خازن مثبت و در جریان منفی، ولتاژ خازن منفی گردد و TCSC به‌طور بسیار سریع به حالت عملکرد سلفی تغییر وضعیت می‌یابد.

در شکل ۱۲ نیز شبیه‌سازی روش پیشنهادی در این مقاله و [۸] نشان داده شده است. از نکته قوت روش ارائه‌شده این است که در زمانی خیلی کمتر از نصف سیکل طول می‌کشد تا TCSC آماده کار در وضعیت سلفی شود که این موضوع در [۸] نزدیک به دو نیم‌سیکل طول کشیده است (یک عبور از صفر جریان که عمل نکرده بود و بین دو عملکرد تریستورها نزدیک یک سیکل فاصله زمانی اتفاق افتاد بود).

تغییرات سریع توان انتقالی در خط انتقال جبران‌شده از دیگر نکات قوت روش پیشنهادی نسبت به روش [۸] است. در شکل ۱۳ تغییر وضعیت از خازنی به سلفی برای روش پیشنهادی این مقاله و مرجع نشان داده شده است. مشاهده می‌شود کاهش توان انتقالی ناشی از افزایش امپدانس خط انتقال (تغییر حالت از جبران خازنی به سلفی) در روش ارائه‌شده سریع‌تر می‌باشد.

همچنین مشاهده می‌شود که گذراها و تنش‌های ولتاژی و جریانی روش پیشنهادی در مقایسه با روش [۸] کمتر است که در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ با هم مقایسه شده‌اند.

مشخص است که این پاسخ سریع‌تر TCSC در تغییرات توان انتقالی عامل مهمی به‌منظور کنترل توان خط در حالت‌های گذرا و حتی میراسازی نوسان می‌باشد که در ادامه کارهای بعدی مورد بررسی دقیق قرار خواهد گرفت.



شکل ۱۴: تغییر حالت کارکرد TCSC از سلفی به خازن در کمتر از نیم‌سیکل.

مطالعه چهارم: تغییر حالت سلفی به خازنی

در شکل ۱۴ تغییر وضعیت از سلفی به خازنی با روش پیشنهادی نشان داده شده است. در زمان Sec ۰/۰۸۵ فرمان تغییر حالت از سلفی به خازنی صادر می‌شود. با فرمان زودتر از موعد در زمان Sec ۰/۰۸۷ تغییر حالت کارکرد از سلفی به خازنی صادر شده است که ولتاژ خازن معکوس شده و شرایط ایجاد شده TCSC در حالت خازنی قرار می‌گیرد. در [۸] نتیجه تغییر وضعیت از سلفی به خازنی بر اساس روش ارائه‌شده در آن مقاله مورد بررسی قرار نگرفته است.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی جدید در افزایش سرعت تغییر وضعیت از حالت سلفی به خازنی و برعکس به تفصیل و به‌طور دقیق مورد بررسی قرار گرفته است. اولین مزیت روش پیشنهادی تغییر وضعیت حالت کارکرد TCSC با تأخیری کمتر از نیم‌سیکل می‌باشد که در مقایسه با روش قبلی موجود سریع‌تر است. مزیت دوم روش پیشنهادی این است که بر اساس شرایط ولتاژ خازن و جریان خط تصمیم‌گیری می‌کند و مشکلات روش‌های دیگر را نخواهد داشت. روش‌هایی مانند استفاده از PLL که سیکل برق شهر را پیش‌بینی می‌کنند یا تخمین می‌زنند دارای این مشکل هستند که TCSC مجبور می‌شود با فرکانس برق شهر کلیدزنی انجام دهد. در چنین روش‌هایی حداقل بین نیم تا یک سیکل تأخیر ذاتی برای پیش‌بینی با PLL و یک نیم‌سیکل برای اجرای فرمان کلیدزنی لازم است که باعث کاهش سرعت عملکرد TCSC خواهد شد. همچنین در شرایطی که نوسان یا اغتشاش وجود دارد، احتمال از دست دادن فرکانس برق شهر وجود دارد و می‌تواند عملکرد کنترل TCSC منجر به ناپایداری بیشتر شود و عملکرد بدتری به‌علت گم‌کردن سیگنال کنترل‌کننده داشته باشد. ولی در روش پیشنهادی بر اساس جریان ولتاژ لحظه‌ای تصمیم‌گیری می‌شود که ضمن کاهش تأخیر به زیر نیم‌سیکل، احتمال از دست دادن سیگنال کنترل در اغتشاش‌ها وجود ندارد. از الزامات روش پیشنهادی اندازه‌گیری با تأخیر فاز کم و محاسبات لحظه‌ای می‌باشد.

مراجع

[1] M. Nayeripour, Design and Coordination between UPFC Controllers to Improve Power Oscillation Damping, Ph. D Thesis, Tarbiat Modares University, 2008.

[2] A. C. Zolotas, B. Chaudhuri, I. M. Jaimoukha, and P. Korba, "A study on LQG/LTR control for damping inter-area oscillations in power systems," *IEEE Trans on Control Systems Technology*, vol. 15, no. 1, pp. 150-161, Jan. 2007.

Archive of SID
www.SID.ir

[3] K. C. SindhuThampatty, M. P. Nandakumar, and E. P. Cheriyan, "Adaptive RTRL based neurocontroller for damping subsynchronous oscillations using TCSC," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 24, pp. 60-75, 2011.

[4] N. Johansson, L. Angquist, and H. P. Nee, "An adaptive controller for power system stability improvement and power flow control by means of a thyristor switched series capacitor (TSSC)," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 25, no. 1, pp. 381-391, Feb. 2010

[5] D. Chatterjee and A. Ghosh, "TCSC control design for transient stability improvement of a multi - machine power system using trajectory sensitivity," *Electric Power Systems Research*, vol. 77, pp. 470-483, 2007.

[6] D. C. Savelli, P. C. Pellanda, N. Martins, N. J. P. Macedo, A. A. Barbosa, and G. S. Luz, "Robust signals for the TCSC oscillation damping controllers of the Brazilian north-south interconnection considering multiple power flow scenarios and external disturbances," in *IEEE Proc. Power Engineering Society General Meeting,* 7 pp., 24-28 Jun. 2007.

[7] C. Venkatesh, T. Deepak, K. Rajesh, K. Krishna, and A. K. Kamath, "Flatness based TCSC controller for transient stability enhancement of power system," in *Proc. Int. Symp.: Modern Electric Power Systems, MEPS'10*, 6 pp., Wroclaw, Poland, 2010.

[8] K. Li, J. Zhao, C. Zhang, and W. J. Lee, "Study on mode - switching control of TCSC based on conditional firing of thyristor," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 26, no. 2, pp. 1196-1202, Apr. 2011.

[9] S. A. Zaid, "Thyristor firing circuit synchronization techniques in thyristor controlled series capacitors," in *Proc. Int. Conf. Clear Electrical Power*, pp. 183-188, 14-16 Jun. 2011.

مجید نیری‌پور تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک (۱۳۷۲-۱۳۶۸) از دانشگاه گیلان، کارشناسی ارشد برق- قدرت (۱۳۷۴-۱۳۷۲) از دانشگاه صنعتی اصفهان و دکتری برق- قدرت (۱۳۸۶-۱۳۸۲) از دانشگاه تربیت مدرس تهران به پایان رسانیده است. نام‌برده در سال های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۲ بعنوان عضو هیأت‌علمی دانشگاه آزاد اسلامی و همچنین مجری و همکار پروژه‌های مختلف شبکه‌های قدرت مشغول بوده است. ایشان از بهمن ماه سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ به عنوان استادیار دانشکده برق و الکترونیک دانشگاه صنعتی و هم‌اکنون به‌عنوان دانشیار سیستم‌های قدرت در این دانشگاه مشغول به فعالیت می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: انرژی های نو، اداوات FACTS; و کیفیت توان.

محمد مهدی منصوری تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک و کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت برق در سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۷۹ هر دو از دانشگاه صنعتی شریف به پایان رسانده است و هم‌اکنون دانشجوی دکتری مهندسی برق- قدرت دانشگاه صنعتی شیراز می‌باشد. نام‌برده در سال‌های ۱۳۸۰ الی ۱۳۹۰ به عنوان کارشناس ارشد رله و حفاظت در شرکت برق منطقه ای یزد، دفتر فنی انتقال مشغول بوده است و در این سال‌ها نیز مدرس مدعو دانشگاه یزد و دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد بوده است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: سیستم‌های انرژی نو، رله و حفاظت، الکترونیک قدرت.

Archive of SID

www.SID.ir