امروزه در شبکه­های قدرت ژنراتورهای سنکرون متعددی وجود دارد که وظیفه تولید توان را بر عهده دارند. با توجه به اینکه توان خروجی ژنراتورها در حالت گذرا تابعی از زوایای نسبی ولتاژ پشت راکتانس گذرای ژنراتورها، اندازه این ولتاژها و امپدانس خطوط می­باشد. لذا چنانچه بتوان زوایای نسبی، اندازه ولتاژها و یا امپدانس خطوط را به سرعت در جهت کمک به تعادل توان در سیستم تغییر داد. علاوه بر افزایش امنیت سیستم، بهره­برداری اقتصادی از امکانات موجود، میسر می­شود. با پیشرفت ابزارهای الکترونیک قدرت، ادواتی تحت عنوان ادوات انعطاف­پذیر سیستم­های انتقال[[1]](#footnote-1) (FACTS) به سیستم­های قدرت وارد شده­اند که می­توانند تعادل توان­ در سیستم را به گونه­ای تغیر دهند که به حفظ پایداری کمک شایانی نمایند. خازن سری کنترل شده با تریستور[[2]](#footnote-2) (TCSC) یکی از ادوات FACTS مهم برای کاهش طول الکتریکی خط و میرا­سازی نوسانات سیستم می­باشد]1[.

**1-1 تاریخچه**

طرح اصلی خازن سری کنترل شده با تریستور در سال 1986 توسط "ویتایاتیل" و دیگران تحت عنوان "روش تنظیم سریع امپدانس" پیشنهاد شد. متعاقب آن استفاده از این تجهیزات و طراحی کنترل­کننده­های مناسب برای آن­ها به جهت تامین پایداری سیستم­های قدرت در دستور کار محققین صنعت برق و کنترل قرار گرفت. در سال 1992 kunar.p. مقدمه­ای بر مشکلات مطرح در بحث پایداری سیستم­های قدرت ارائه نمود و در قالب یک گزارش جامع، بحث مفاهیم پایه و مدل­های اجزاء مختلف سیستم­های قدرت را طرح نمود و کنترل کننده­ها را به طرز مناسبی طبقه­بندی نمود. در سال 1995 johan et al مدلی نمونه از TCSC را ارائه کرد که برای مطالعات پایداری دینامیکی و پایداری گذرای شبکه مناسب باشد. پس از آن مطالعات گسترده­ای برروی تأثیر حضور TCSCبر پایداری گذرا و انواع روش­های جایابی آن و بهینه­سازی پارامترهای کنترل کننده TCSC با توابع هدفی شامل پارامترهایی که در جهت بهبود پایداری گذرا عمل می­کنند، انجام گرفته است]2[.

**1-2 خازن سری کنترل شده با تریستور(TCSC)**

جبرانساز راکتانس خازنی، شامل یک بانک خازنی سری است که با یک راکتور کنترل شونده با تریستور موازی شده است تا راکتانس خازنی سری با تغییرات یکنواخت فراهم آید.

در واقع یک راکتور متغیر مثل یک راکتور قابل کنترل با تریستور[[3]](#footnote-3)(TCR) ، به دو طرف یک خازن سری متصل می­شود. زمانی که زاویه آتش TCR ، 180 درجه است، راکتور غیر هادی می­شود و خازن سری امپدانس عادی خود را دارد. با شروع کاهش زاویه آتش به کمتر از 180 درجه، امپدانس خازنی افزایش می­یابد. در طرف دیگر زمانی که زاویه آتش 90 درجه است راکتور به طور کامل هادی می­شود و امپدانس کلی، حالت القایی پیدا می­کند زیرا امپدانس راکتور طوری طراحی شده است که بسیار کمتر از امپدانس خازن سری باشد. در زاویه آتش 90 درجه، TCSC به محدود ساختن جریان خطا کمک می­کند. TCSC می­تواند یک واحد منفرد بزرگ یا مجموعه یک بانک خازنی باشد. رابطه (1-1) ارتباط بین زاویه هدایت TCR و امپدانس معادل TCSC را نشان می­دهد.



شکل(1-1): ساختار خازن سری کنترل شده با تریستور

ب

XC= راکتانس نامی خازن ثابت

XL= راکتانس سلف

2()= زاویه هدایت تریستورها

= نسبت جبرانسازی

به این ترتیب، TCSC نمایش دهنده یک مدار موازی LC قابل تنظیم می­باشد که با تغییر امپدانس راکتور کنترل شده با تریستور (XL()) از مقدار حداکثر خود (بی نهایت) به مقدار حداقل آن ()، امپدانس TCSC تغییر می­نماید. از لحاظ تئوری امپدانس حداکثر TCSC برابر بی­نهایت و در حالتی رخ می­دهد که بین سلف معادل و خازن حالت تشدید رخ دهد. شکل (1-2) نمودار تغییرات امپدانس TCSC را بر اساس زاویه آتش تریستورها نمایش می­دهد، همانطور که از نمودار مشخص است امپدانس معادل می­تواند در دو ناحیه القائی و خازنی قرار گیرد و این کار را می­توان با تنظیم درست مدارهای کنترلی TCSC انجام داد]2[.



شکل(1-2): نمودار امپدانس- زاویه آتش TCSC

**1-3 مدل سازیTCSC**

به طورکلی برای اهداف مختلف مطالعه ادوات FACTS مدل سازی­های متفاوتی انجام می­گیرد. در مورد TCSC نیز این کار بر اساس نوع مطالعه صورت می­پذیرد. برای مطالعات حالت دائمی و محاسبات پخش بار سیستم، مدل استاتیکی TCSC نیاز است. یکی از این مدل­ها مدل تزریق می­باشد که در شکل(1-3) نشان داده شده است. این مدل TCSC را به گونه­ای مدل می­کند که مقدار مشخصی توان اکتیو و راکتیو را به یک گره تزریق می­نماید به عبارت دیگر به صورت یک المان PQ مدل سازی می­شود.



شکل(1-3): مدل تزریق TCSC

اما مدل سازی که برای مطالعات حالت گذرای سیستم انجام می­گیرد به دلیل ماهیت غیرخطی این تحلیل باید به صورت شکل (1-4) مدل شود و قسمت غیر خطی نیز در آن گنجاده شود.



شکل(1-4): ساختار مدل­های غیرخطی TCSC

در این مدل قسمت غیرخطی ولتاژ TCSC با بلوک v2 مدل شده است که تابعی غیرخطی از v1 زاویه آتش تریستورها، و فرکانس می­باشد.

در این گزارش ابتدا تأثیر حضور TCSC بر عملکرد دینامیکی سیستم الکترومکانیکی با استفاده از تابع انرژی، بررسی می­گردد سپس به بررسی روش­­های متفاوت جایابی TCSC در بهبود پایداری گذرای سیستم پرداخته­ می­شود و در انتها به تحلیل تأثیر پارامترهای کنترل­کننده TCSC بر پایداری گذرا و بهینه سازی این پارامترها پرداخته می­شود. در این گزارش سعی شده است تا نتایج شبیه سازی مربوط به هر بخش در انتهای همان بخش ارائه گردد تا بین روش­های مختلف به شکل بهتری صورت گیرد.

1. . Flexible AC Transmission System [↑](#footnote-ref-1)
2. . Thyristor Controlled Series Capacitor [↑](#footnote-ref-2)
3. . Thyristor Controlled Reactor [↑](#footnote-ref-3)