در این فصل جهت سادگی کار، بررسی تأثیر حضور TCSC بر سیستم الکترومکانیکی در یک سیستم تک ماشینه و با استفاده از روش تابع انرژی صورت می­پذیرد. به همین منظور ابتدا یک مقدمه ای از مدل­های ریاضی سیستم و معادلات مرتبط با آن بیان می­گردد سپس به بررسی تأثیر TCSC در این معادلات و تأثیر پارامترهای مختلف آن در پایداری گذرا پرداخته می­شود.

**2-1 تحلیل پایداری گذرا در سیستم­های قدرت**

ساده­ترین روش برای بررسی پایداری گذرا، روش قدم به قدم حل معادله دیفرانسیل است. در این روش، معادلات حالت قبل از خطا، حین خطا و پس از خطای سیستم با یک روش عددی مناسب حل می­شوند و تغییرات زوایای بار واحدهای مختلف به دست می­آیند. اگر تمام زوایای بار پایدار باشند، سیستم پایدار است.

یکی از مهمترین عواملی که در بحث پایداری گذرا تعریف می­شود، زمان رفع خطای بحرانی[[1]](#footnote-1)(CCT) می­باشد، زمانی که اگر رله­ها در آن عمل نکنند سیستم حالت سنکرونیزم خود را از دست می­دهد. زمان رفع خطای بحرانی از دو جهت مهم می­باشد. الف: در تنظیم زمان عملکرد رله­ها پس از خطا ب: در تعیین اندیس امنیت[[2]](#footnote-2) سیستم که همان فاصله زمانی بین زمان عملکرد رله­ها و زمان بحرانی رفع خطا می­باشد. با روش قدم به قدم حل معادلات دیفرانسیل سیستم نمی­توان این عامل را مستقیماً محاسبه نمود.

روش اصولی­ای که در این فصل بررسی می­گردد تعیین پایداری سیستم­های قدرت و زمان بحرانی به کمک تابع لیاپانوف می­باشد. روش تابع انرژی یک روش مستقیم جهت تعیین پایداری سیستم­های قدرت است. در این روش ابتدا انرژی بحرانی[[3]](#footnote-3) سیستم محاسبه می­شود و با استفاده از آن، زمان رفع خطای بحرانی به دست می­آید]3[.

**2-1-1 مدل سیستم تک ماشینه برای بررسی پایداری گذرا**

اولین قدم در مطالعه یک سیستم قدرت تعریف مدل مناسب برای آن است. همانطور که در فصل مقدمه بیان شد در مطالعه حالت گذرای سیستم قدرت برخلاف مطالعات حالت دینامیکی به علت وفوع اغتشاش بزرگ، از مدل­های غیر خطی استفاده می­گردد. در این جا نیز از یک تک ماشینه با فرضیات زیر جهت مدل سازی استفاده گردیده است:

1. ژنراتور سنکرون با مدل درجه 2(فقط معادلات بخش مکانیکی روتور)
2. ژنراتور، ثطب صاف می­باشد(Jx=Jxd=Jxq)



شکل(2-1): یک مدل ساده برای بخش الکتریکی ماشین سنکرون در مطالعات پایداری گذرا

با توجه به معادلات نوسان داریم:

*+ B* (2-1)

در مطالعات پایداری گذرا، به دلیل کوچک بودن ضریب اصطحکاک، برای سادگی محاسبات، معمولاً از مقدار اصطحکاک صرف نظر می­کنند.(B). اما برای استفاده از قضیه لیاپانوف باید از مدل بدون ورودی استفاده کرد. در همین راستا در مدل بالا تغییر متغیری داده می­شود تا سیستم را به سیستم بدون ورودی تبدیل نمود]3[.

(2-2) x1=

(2-3)

با توجه به روابط (2-1) تا (2-3) داریم:

+ )] (2-4)

+ )] (2-5)



**2-1-2 قضیه لیاپانوف**

قضیه لیاپانوف بیان می­دارد که اگر برای یک سیستم بدون ورودی تابع مثبت معین V(x)را بتوان تعریف کرد به طوریکه مشتق آن نسبت به زمان، منفی نیمه معین باشد، سیستم پایدار است.

تعریف- V(x)را مثبت معین می­گویند هرگاه:

V(0)=0

V(x)

به همین صورت توابع منفی معین و منفی نیمه معین تعریف می­شوند.

روش های مختلفی برای محاسبه تابع لیاپانوف وجود دارد که در اینجا از روش انتگرال اول برای این منظور استفاده می­گردد به این صورت که اگر سیستمی با معادلات زیر تعریف گردد:

.

.

*شرط لازم برای استفاده از این روش این است:*

(2-7)

حال با استفاده از روش­ بالا سعی می­کنیم برای یک سیستم تک ماشینه با مدل بیان شده در بخش قبل تابع لیاپانوف را تعریف کنیم که به صورت رابطه (2-8) نوشته می­شود.

تابع لیاپانوف*(2-8)*

اگر مقادیر متغیرهای حالت سیستم تک ماشینه را در رابطه بالا وارد نماییم در نهایت به رابطه (2-9) می­رسیم.

(2-9)

در رابطه بالا جمله اول انرژی جنبشی روتور، نسبت به نقطه تعادل است. جمله دوم انرژی پتانسیل ذخیره شده در میدان مغناطیسی و جمله سوم انرژی پتانسیل ذخیره شده در روتور می­باشد]3[.

**2-2 تأثیر TCSC در تابع لیاپانوف برای سیستم تک ماشینه**

برای اینکه اثر TCSC را روی سیستم مشخص کنیم لازم است معادلات حالت سیستم را بار دیگر و این بار با حضور TCSC بازنویسی نماییم در همین راستا معادلات سیستم به شکل زیر در می­آیند:

  
همانطور که مشاهده می­شود در حضور TCSC یک متغیر حالت جدید به سیستم اضافه می­شود که به صورت زیر تعریف می­گردد:

 (2-10)

(2-11)

در معادلات بالا TCSC نشانگر ثابت زمانی TCSC می­باشد و KCSC نشانگر ضریب جبرانسازی می­باشد. حال با استفاده از روش انتگرال اول که در بخش قبلی بیان شد بار دیگر تابع لیاپانوف سیستم را محاسبه می­نماییم.



(2-12)

همانطور که مشاهده می­شود به تابع لیاپانوف سیستم یک ترم اضافه گشته است که نشان دهنده افزایش انرژی پتانسیل سیستم می­باشد. در رابطه(2-12) Kxp نشان دهنده تغییرات توان الکتریکی نسبت به تغییرات راکتانس موثر TCSCدر نقطه تعادل می­باشد و با رابطه زیر نشان داده می­شود.

 (2-13)

حال به بررسی تأثیر پارامتر ثابت زمانی TCSC بر پایداری گذرای سیستم پرداخته می­شود در همین راستا راکتانس موثرTCSC را به صورت رابطه (2-14) در نظر می­گیریم که در آن زاویه تأخیر TCSC می­باشد که رابطه مستقیمی با ثابت زمانی TCSC دارد.

 (2-14)

 همانطور که در شکل (2-2) مشاهده می­شود در حضور TCSC گشتاور الکتریکی به دو گشتاور سنکرون کننده و گشتاور میراکننده تقسیم می­گردد. همانطور که مشاهده می­شود در صورت صفر بودن ثابت زمانی گشتاور سنکرون کننده برابر صفر می­باشد و از طرفی دیگر در صورتی که زاویه تأخیر برابر 90 درجه باشد گشتاور میراکننده برابر صفر خواهد شد...................................................................................................................................................

شکل(2-2): گشتاور الکتریکی و مولفه­های سنکرون کننده و میرا کننده آن

با توجه به توضیحات بالا در عمل می­توان با تنظیم مقادیر پارامترهای TCSC بین گشتاور میراکننده و گشتاور سنکرون کننده مصالحه­ای ایجاد نمود که موجب بهبود پایداری گذرای سیستم گردد]4[.

**2-3 شبیه سازی تأثیر TCSC در افزایش پایداری سیستم تک ماشینه**

شکل (2-3) و (2-4) تأثیر حضور TCSC در یک سیستم تک ماشینه با مشخصات زیر را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می­شود در شکل (2-3) و بدون حضور TCSC سیستم سنکرونیزم خود را از دست می­دهد و ناپایدار می­شود ولی با توجه به شکل (2-4)، با حضور TCSC سیستم پس از مدتی میرا می­شود. همچنین در شکل (2-4) تأثیر ثابت زمانی TCSC نیز نشان داده شده است که با کاهش ثابت زمانی TCSC اورشوت و زمان نشست سیستم پس از خطا کاهش می­یابد]4[.

مشخصات سیستم:

 





مشخصات خطا:

خطای اتصال کوتاه سه فاز متقارن با زمان پاکسازی 1/0 ثانیه



شکل(2-3): نمودار زاویه توان و سرعت زاویه ای ماشین پس از خطا بدون وجود TCSC



شکل(2-4): نمودار زاویه توان ماشین پس از خطا با وجود TCSC، 1:TCSC=0.001sو2: TCSC=0. 01s3: TCSC=0.9030s

**2-4 جمع بندی**

همانطور که در این فصل بررسی گردید با افزودن TCSC به یک شبکه با یک ماشین انريی پتانسیل ذخیره شده در شبکه افززایش خاوهد یافت که این امر ناشی از تقسیم گشتاور الکتریکی ماشین به دو مولفه گشتاور میرا کننده و سنکرون کننده است که گشتاور سنکرون کننده نقش بسیار مهمی را در افزایش این انرژی بازی می­کند و از طرفی دیگر با افزایش گشتاور میراکننده زمان نشست پارامتر زاویه ولتاژ()، که یکی از مهمترین پارامترهای ایجاد پایداری در سیستم قدرت می­باشد، را کاهش می­دهد. در فصل بعدی گزارش به بررسی تأثیر پارامترهای کنترلر TCSC در پایداری گذرا و همچنین جایابی مناسب آن پرداخته می­شود.

1. .Critical Clearing Time [↑](#footnote-ref-1)
2. .Security Index [↑](#footnote-ref-2)
3. .Critical Energy [↑](#footnote-ref-3)