

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

کاهش نوسانات زیرسکرون با استفاده از TCSC بهینه شده تکفاز بر مبنای الگوریتم جهش قورباغه بهبود یافته

بهداد آرندیان^۱، محمدرضا رفیع منزلت^۲ (نویسنده مسئول)

^۱ گروه برق، واحد دولت آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران b.arandian@iauda.ac.ir

^۲ گروه برق، واحد دولت آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران mr.rafiemanzelat@iauda.ac.ir

چکیده

در سیستم‌های قدرت، عدم تعادل در فرکانس‌های زیر سنکرون، باعث کاهش تبادل انرژی بین قسمت الکتریکی و مکانیکی گردیده و در نهایت کاهش نوسانات پیچشی را به همراه دارد. در این مقاله با استفاده از خازن‌های ثابت و TCSC (خازن سری کنترل شده با تریستور) به صورت تکفاز، جبران‌ساز نامتقارنی ارائه گردیده است. این طرح علاوه بر افزایش قابلیت انتقال توان در حالت ماندگار، جهت کاهش نوسانات زیرسنکرون به منظور پایداری دینامیکی نیز استفاده می‌گردد. استفاده از TCSC به صورت تکفاز علاوه بر کاهش هزینه‌ها نسبت به جبران سه‌فاز، باعث افزایش قابلیت اعتماد سیستم به دلیل کاهش تعداد تریستورها می‌گردد. جهت کنترل زاویه آتش تریستورها در شرایط دینامیکی سیستم، از روش معکوس‌سازی ولتاژ سنکرون (SVR) استفاده شده است. همچنین پارامترهای کنترلی موجود در این طرح با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه بهبود یافته، انتخاب گردیده تا بیشترین سرعت در کاهش نوسانات زیرسنکرون حاصل گردد. روش پیشنهادی بر روی یک سیستم نمونه IEEE شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها موثر بودن این روش را تأیید می‌کنند.

واژه‌های کلیدی

الگوریتم جهش قورباغه بهبود یافته (MSFLA)، جبران‌ساز خازن کنترل شده تریستوری (TCSC)، کنترل معکوس‌سازی ولتاژ سنکرون (SVR)، نوسانات زیرسنکرون (SSR).

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

۱. مقدمه

استفاده از خطوط انتقال برای ارسال توان تولید شده به محل مصرف، یک امر ضروری است. این خطوط همواره با محدودیت انتقال توان مواجه هستند. جبران‌سازی توسط خازن‌های سری به عنوان یک روش اقتصادی و مقرون به‌صرفه برای افزایش قابلیت انتقال توان از خطوط مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما به دلیل تعامل بین قسمت مکانیکی سیستم (توربین-ژنراتور) و قسمت‌های الکتریکی (خازن‌های موجود در خط)، احتمال رخداد نوساناتی زیر فرکانس سنکرون وجود دارد. بنابراین با استفاده از خازن‌های سری جهت جبران خط، ممکن است مشکلاتی مانند صدمه دیدن محور ژنراتور پدیدار گردد [۱].

مزیت استفاده از ادوات FACTS جهت پایدارسازی سیستم قدرت به خوبی شناخته شده است [۲]. در این میان خازن‌های سری کنترل شده تریستوری (TCSC) به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته اند [۳]. تاکنون روش‌های متعددی برای کاهش و حذف نوسانات زیرسنکرون ارائه گردیده است که به دو دسته کلی تقسیم می‌گردند:

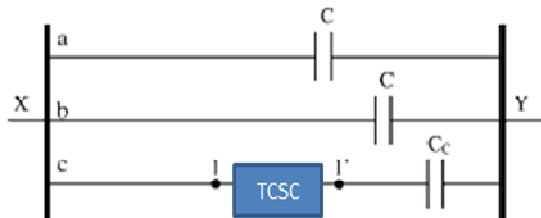
گروه اول از تنظیم فرکانس طبیعی سیستم استفاده می‌کنند که از جمله آن‌ها می‌توان به فیلترهای مسدودکننده استاتیکی [۴] اشاره کرد که این فیلترها به صورت پیوسته جریان سنکرون ورودی را فیلتر می‌کنند تا فقط فرکانس سنکرون در سیستم موجود باشد. گروه دوم با استفاده از افزایش گشتاور میراکننده عمل می‌کنند. از جمله وسایلی که به این روش عمل می‌کنند می‌توان به جبران‌سازهای استاتیک توان راکتیو (SVC) [۵]، کنترل‌کننده‌های سیستم تحریک [۶] و ابرذخیره‌کننده‌های انرژی مغناطیسی [۷] اشاره کرد.

در تمامی روش‌های قبلی تجهیزات مورد استفاده به صورت متقارن و سه‌فاز در سیستم نصب می‌شدند ولی در این مقاله از خازن سری کنترل شده به صورت تکفاز استفاده شده است که این امر تأثیرات زیادی در کاهش هزینه‌ها خواهد داشت. همچنین پارامترهای کنترلی آن با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه بهبودیافته انتخاب می‌گردد تا بالاترین سرعت در کاهش نوسانات زیرسنکرون حاصل گردد.

در بخش دوم مقاله شمای کلی جبران‌ساز خازنی ارائه گردیده و عملکرد جبران‌ساز در حالت دائمی بررسی می‌گردد. در بخش سوم الگوریتم جهش قورباغه بهبودیافته به اختصار توضیح داده می‌شود. در بخش چهارم درباره روش کنترلی معکوس‌سازی ولتاژ سنکرون (SVR) که جهت کنترل زاویه آتش تریستورها استفاده شده توضیحاتی ارائه گردیده و نحوه استفاده از الگوریتم جهش قورباغه بهبودیافته توضیح داده می‌شود و در بخش پنجم، موثر بودن طرح با شبیه‌سازی نشان داده می‌شود.

۲. شمای جبران‌ساز سری خازنی

شکل ۱ جبران‌ساز سری را برای خطوط سه فاز نشان می‌دهد [۸]. در این طرح، در دو فاز از سیستم خازن‌های ثابت (C) قرار گرفته و در فاز سوم (مثلاً فاز c) یک خازن ثابت (C_c) و یک TCSC تکفاز قرار دارد.



شکل ۱. جبران‌ساز سری خط با استفاده از TCSC تکفاز

امپدانس هر فاز را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$X_a = X_b = 1/j\omega c \quad (1)$$

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

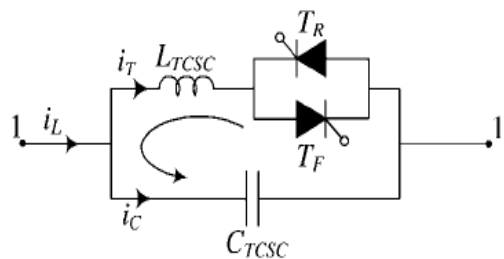
senacnf.ir

$$X_c = X_{C_c} + X_{TCSC} \quad (2)$$

در عملکرد عادی سیستم و در فرکانس f_0 سه فاز باید به صورت متقارن و متعادل عمل نمایند یعنی امپدانس معادل هر فاز در خط انتقال با یکدیگر برابر باشند. بنابراین زاویه آتش ترستورها به گونه‌ای تنظیم می‌گردد که:

$$X_a = X_b = X_c \quad (3)$$

TCSC مشابه یک امپدانس متغیر رفتار می‌کند و شامل سلف، خازن و ترستور می‌باشد که در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. TCSC به عنوان امپدانس متغیر

با کنترل زاویه آتش ترستورها می‌توان مقدار امپدانس TCSC را تغییر داد. اگر زاویه آتش ترستورها را با α نشان دهیم مقدار امپدانس مطابق (۴) خواهد بود [۹]:

$$X_{TCSC} = \frac{X_L(\alpha) \cdot X_C}{X_L(\alpha) - X_C} \quad (4)$$

که در آن:

$$X_L(\alpha) = \frac{\pi \cdot X_{LTCSC}}{\pi - 2\alpha - \sin(2\alpha)} \quad (5)$$

در سیستمی که از جبران خازن سری برای افزایش توانایی قدرت انتقال بهره گرفته می‌شود در لحظاتی که اتصال کوتاه ایجاد و رفع می‌گردد؛ نوسانات زیرسنگرون که دارای فرکانس پایینی نیز هستند ایجاد می‌گردد. در این شرایط با کنترل زاویه آتش ترستورها، عدم تعادل در خط ایجاد می‌گردد و این عدم تعادل باعث کاهش نوسانات زیرسنگرون می‌گردد. یعنی در فرکانسهایی غیر از فرکانس اصلی مانند f_e با کنترل زاویه آتش مقدار خازن فاز سوم با دو فاز دیگر متفاوت می‌شود و بنابراین:

$$X_a = X_b \neq X_c \quad (6)$$

۳. الگوریتم جهش قورباغه بهبود یافته

الگوریتم جستجوی جهش قورباغه‌های متحرک، یک الگوریتم جدید در خانواده الگوریتم‌های تکاملی می‌باشد. این الگوریتم از زندگی گروهی قورباغه‌ها زمانی که به دنبال غذا می‌گردند الهام گرفته شده است. این الگوریتم در سال ۲۰۰۶ به منظور حل مسائل پیچیده‌ی بهینه‌سازی، بدون استفاده از روابط ریاضی ارائه گردید [۱۰]. این الگوریتم ترکیبی از ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جمعیت پرندگان را دارد و لذا نسبت به این دو روش از سرعت و دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. در این الگوریتم هر قورباغه بیانگر جوابی از مسئله می‌باشد. در روش مفروض جمعیت اولیه را به چند گروه مجزا تقسیم نموده که تعداد قورباغه‌های موجود در همه‌ی گروه‌ها با هم برابر است. بر اساس این تقسیم‌بندی دو نوع تکنیک جستجو در این الگوریتم وجود دارد، تکنیک اول تکنیک جستجوی محلی است و بر اساس آن قورباغه‌ها در هر گروه با تبادل اطلاعات، موقعیت خود را نسبت به غذا (بهترین جواب) بهبود می‌دهند و تکنیک دوم مربوط به تبادل اطلاعات بین گروه‌ها می‌باشد، که بر اساس آن، بعد از هر جستجوی محلی در گروه‌ها، اطلاعات بدست آمده بین گروه‌ها با هم مقایسه می‌شود. جهت اجرای این الگوریتم، ابتدا پارامترهای اولیه الگوریتم مقارده می‌شوند و سپس جمعیت اولیه‌ای با P عضو به صورت

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

تصادفی تولید می‌شود. شایستگی هر عضو محاسبه گردیده و پس از مرتب نمودن جمعیت به صورت نزولی، کل جمعیت به m گروه تقسیم می‌شوند که هر کدام از این گروه‌ها شامل n عضو می‌باشند. این تقسیم‌بندی باید به گونه‌ای باشد که عضوهای با شایستگی بیشتر، در همه گروه‌ها قرار داشته باشند. سپس جستجوی محلی برای جهش قورباغه‌های با بدترین شایستگی به سمت قورباغه‌های با بهترین شایستگی صورت می‌پذیرد. این جهش مطابق روابط (۷) و (۸) می‌باشد.

$$D = r(X_b - X_w) \quad (7)$$

$$\begin{cases} X_w(\text{new}) = X_w + D \\ |D| < D_{\max} \end{cases} \quad (8)$$

که در رابطه فوق X_b و X_w به ترتیب قورباغه‌های با بدترین و بهترین جواب، D مقدار جهش ضعیف‌ترین قورباغه به سمت بهترین عضو گروه، D_{\max} بیشترین حد مجاز برای جهش قورباغه و r عددی تصادفی در بازه $[0, 1]$ می‌باشد. پس از اعمال تغییرات فوق در صورتی که قورباغه جدید دارای پاسخ بهتری نسبت به بدترین قورباغه گروه داشته باشد، جایگزین آن می‌گردد. در غیر این صورت همین اعمال با جایگزینی X_b با X_g تکرار می‌گردد. اگر با اعمال تغییر فوق پاسخ مناسب‌تری یافت نگردید، یک جواب به صورت تصادفی تولید کرده و آن را جایگزین بدترین عضو گروه می‌نماییم. این روند برای تعداد تکرار مشخص شده ادامه می‌یابد تا در نهایت شرایط تمام الگوریتم حاصل گردد.

۱.۳. بهبود در الگوریتم جهش قورباغه

بهبود در الگوریتم جهش قورباغه در دو بخش ارائه می‌شود. بخش اول با تغییر در رابطه جهش، باعث بهبود سرعت الگوریتم می‌شود و بخش دوم با تعریف زیرگروه‌ها، امکان توقف الگوریتم در بهینه‌های محلی را کاهش می‌دهد. همان‌طور که قبلاً ذکر گردید، موقعیت بدترین قورباغه در هر گروه با توجه به موقعیت بهترین قورباغه در آن گروه و یا بهترین قورباغه در کل جمعیت قورباغه‌ها با استفاده از روابط (۷) و (۸) بهبود می‌یابد. با استفاده از این روابط موقعیت جدید بدترین قورباغه در امتداد خطی که بین X_b و X_w قرار دارد، قرار می‌گیرد و موقعیت جدید بدترین قورباغه نمی‌تواند در اطراف این خط باشد. وجود این محدودیت می‌تواند باعث کاهش سرعت همگرایی الگوریتم و یا همگرا شدن الگوریتم به جواب‌های غلط شود. برای رفع محدودیت فوق می‌توان از روابط (۹) الی (۱۱) استفاده نمود که امکان جهش قورباغه در فضای وسیع‌تری را فراهم می‌نماید.

$$D = r.C.(X_b - X_w) + W \quad (9)$$

$$W = ri.W_{\max} \quad (10)$$

$$X_{w\text{new}} = \begin{cases} X_w + D & \text{if } |D| < D_{\max} \\ X_w + \frac{D}{\sqrt{|D|}} D_{\max} & \text{if } |D| > D_{\max} \end{cases} \quad (11)$$

که در روابط فوق r عددی تصادفی در بازه $[0, 1]$ ، C عددی ثابت در بازه $[1, 2]$ ، ri عددی تصادفی در بازه $[-1, 1]$ ، W_{\max} ماکزیمم محدوده‌ای که هر قورباغه می‌بیند و D_{\max} بیشترین حد مجاز برای جهش قورباغه می‌باشد.

با توجه به انتخاب بهترین عضو گروه در روند اجرای الگوریتم، ممکن است تمایل قورباغه‌ها حول قورباغه خاصی متمرکز گردد که این پاسخ، یک بهینه محلی باشد. بنابراین همواره استفاده از بهترین قورباغه گروه مطلوب نیست. بدین منظور مجموعه‌ای از گروه به عنوان زیرگروه در نظر گرفته می‌شود. استراتژی انتخاب این زیرگروه‌ها به این صورت است که به قورباغه‌هایی با شایستگی کمتر، ضرایب کوچک‌تری تخصیص داده می‌شود و به قورباغه‌هایی با شایستگی بیشتر، ضرایب بزرگ‌تری تخصیص داده می‌شود؛ لذا می‌توان جهت تعیین ضرایب از توزیع احتمال مثلثی مطابق رابطه (۱۲) استفاده نمود.

$$P_k = \frac{2(n+1-k)}{n(n+1)}, k = 1, \dots, n \quad (12)$$

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

طبق این توزیع، قورباغه با ضعیف‌ترین شایستگی کمترین احتمال و قورباغه با قوی‌ترین شایستگی بیشترین احتمال را خواهد داشت.

۴. کنترل با استفاده از روش SVR

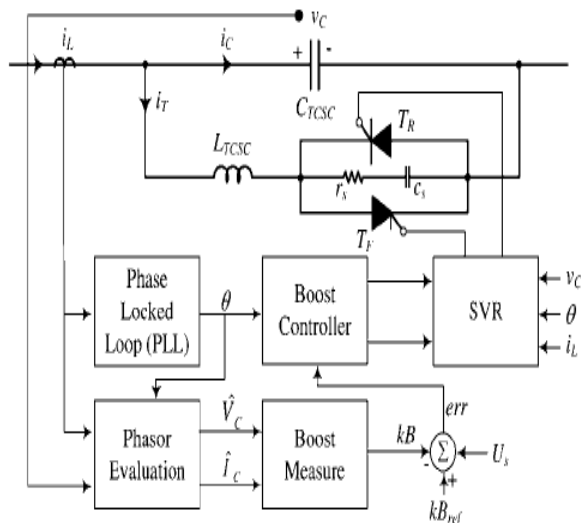
جهت کنترل زاویه آتش تریستورها در شرایط دینامیکی سیستم، روش‌های متعددی وجود دارد که در این مقاله از روش معکوس‌سازی ولتاژ سنکرون (SVR) استفاده شده است [۱۱ و ۱۲]. علت استفاده از این روش این است که در این روش میرایی بیشتری نسبت به سایر روش‌های مرسوم فراهم می‌گردد و در نتیجه سرعت پاسخ سریع‌تر می‌باشد [۱۳]. در این روش با استفاده از یک معادله غیرخطی که در زیر ارائه شده است مقدار β (مکمل زاویه آتش تریستورها) قابل محاسبه است:

$$U_{cz} = X_o \cdot i_{LM} (\lambda\beta - \tan(\lambda\beta)) \quad (13)$$

در رابطه فوق U_{cz} مقدار پیش‌بینی شده ولتاژ خازن مربوط به TCSC در لحظه t_z می‌باشد، که t_z زمانی است که ولتاژ خازن در شرایط ماندگار صفر می‌گردد است. همچنین i_{LM} جریان خط و مقادیر X_o و λ مقادیر ظاهری امپدانس و فرکانس نوسانات TCSC می‌باشند. جریان خط قابل اندازه‌گیری بوده و پارامترهای X_o و λ با توجه به مقادیر خازن و سلف TCSC قابل محاسبه هستند. بنابراین مهم‌ترین جزء رابطه بالا، پیش‌بینی ولتاژ خازن است. بدین منظور می‌توان از الگوریتم‌های عصبی استفاده نمود. این الگوریتم‌ها با استفاده از مقادیری که در هنگام بروز خطا در سیستم عصبی ذخیره شده است، مقدار ولتاژ را تخمین می‌زنند. این روش پیچیدگی و محدودیت‌هایی نیز دارد. بنابراین با استفاده از معادله زیر می‌توان ولتاژ خازن را در لحظه t_z پیش‌بینی نمود [۱۰]:

$$U_{cz} = U_{cm} + X_o \cdot i_{LM} \cdot \lambda \cdot \omega_{PLL} \cdot (t_z - t_m) \quad (14)$$

که در رابطه فوق U_{cm} مقدار ولتاژ خازن در لحظه t_m و i_{LM} مقدار جریان خط سوم در همان لحظه است. ω_{PLL} نیز مربوط به PLL استفاده شده در کنترل کننده می‌باشد. شکل ۳ بلوک دیاگرام این روش کنترلی را نشان می‌دهد.



شکل ۳. بلوک دیاگرام کنترل TCSC با استفاده از روش SVR

زاویه آتش تریستورها در بلوک SVR طبق رابطه بیان شده، استخراج می‌شود. پارامترهای مورد نیاز در این روش توسط بلوک‌های دیگر کنترل کننده، فراهم می‌شود. در این روش کنترلی، کمیت دیگری به نام K_B وجود دارد که مقدار امپدانس مجازی را نسبت به امپدانس واقعی نصب شده می‌سنجد. این کمیت توسط اندازه‌گیرهای فازوری در بلوک مربوطه یعنی Phasor Evaluation و با استفاده از رابطه زیر، در بلوک Boost Measure بدست می‌آید:

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

$$K_B = (IM \left\{ \frac{V_c}{I_c} \right\}) / X_{cTCSC} \quad (15)$$

این کمیت با مقدار مرجع خود، مقایسه شده و خطای حاصل وارد بخش دیگری به نام Boost Controller می‌شود. در حقیقت این کنترل‌کننده، یک کنترل‌کننده تناسبی انتگرالی (PI) بوده و خطای مقدار امپدانس TCSC را در حالت ماندگار صفر می‌کند. الگوریتم جهش قورباغه بهبودیافته جهت یافتن مناسب‌ترین ضرایب این کنترل‌کننده استفاده شده است. بدین منظور هر عضو جمعیت به صورت اعداد پیوسته جهت ضرایب این کنترل‌کننده در نظر گرفته می‌شود. پس از محاسبه β بایستی زمان آتش‌تریستورها را تعیین نمود که این زمان از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$t_F = t_z - \beta / \omega_{PLL} \quad (16)$$

۵. شبیه‌سازی و نتایج

جهت بررسی موثر بودن این روش، برای شبیه‌سازی مقاله از نرم افزار Matlab استفاده شده است. سیستم تحت بررسی یک سیستم نمونه برای بررسی نوسانات زیر سنکرون بوده که توسط کمیته IEEE پیشنهاد شده است. این سیستم یک ژنراتور متصل به شین بینهایت است. برای افزایش قابلیت انتقال خطوط، از خازن‌های سری در خط استفاده شده است [۱۴].

برای شبیه‌سازی، در دو فاز از خازن‌های ثابت استفاده کرده و در فاز سوم علاوه بر خازن ثابت از یک TCSC نیز استفاده شده است. ظرفیت خازن ثابت در این فاز نسبت به خازن‌های دیگر نصف می‌باشد. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب سیستم شبیه‌سازی شده با خازن ثابت و با استفاده از TCSC تکفاز را نشان می‌دهند.

برای سیستم می‌توان نقاط کار متفاوت را در نظر گرفت. در شبیه‌سازی‌های انجام شده، شین مربوط به ژنراتور تحت کنترل PV بوده و ولتاژ 22kV با توان اکتیو 500MW به عنوان نقطه کار سیستم انتخاب شده است. مقادیر خازن‌های جبران‌سازی نیز برای جبران ۵۷/۴٪ طراحی گردیده‌اند. در این شرایط ژنراتور توان به شین بینهایت تحویل می‌دهد. برای شبیه‌سازی فرض شده است که سهم جبران خط برای خازن ثابت و TCSC در خط سوم یکسان و برابر با ۲۸/۷٪ باشد. با توجه به مد عملکرد خازنی TCSC، تنها مقادیر قابل قبول برای زاویه آتش‌تریستورها در محدوده ۹۰ الی ۱۸۰ درجه می‌باشد. پارامترهای شبیه‌سازی نیز به صورت جدول ۱ در نظر گرفته شده است:

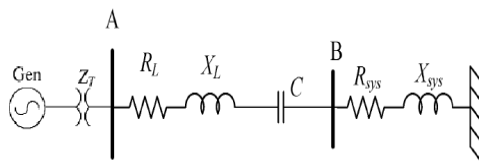
جدول ۱. مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی

نماد	مفهوم	مقدار
N	تعداد عضوهای هر گروه	۱۲
M	تعداد گروه‌ها	۲۰
Q	تعداد عضوهای زیرگروه‌ها	۷
D_{max}	حداکثر مجاز جهش	۶
W_{max}	حداکثر دید جهش	۰/۸۵
IT_{max}	حداکثر تعداد تکرار	۳۰
$C_{TCSC} (\mu F)$	خازن TCSC	۱۱۵/۴۸
$L_{TCSC} (mH)$	سلف TCSC	۹/۷۵
$r_s (k\Omega)$	مقاومت مدار اسنابر TCSC	۱
$c_s (\mu F)$	خازن مدار اسنابر TCSC	۰/۲۵

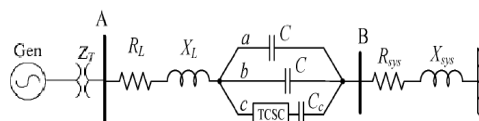
یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

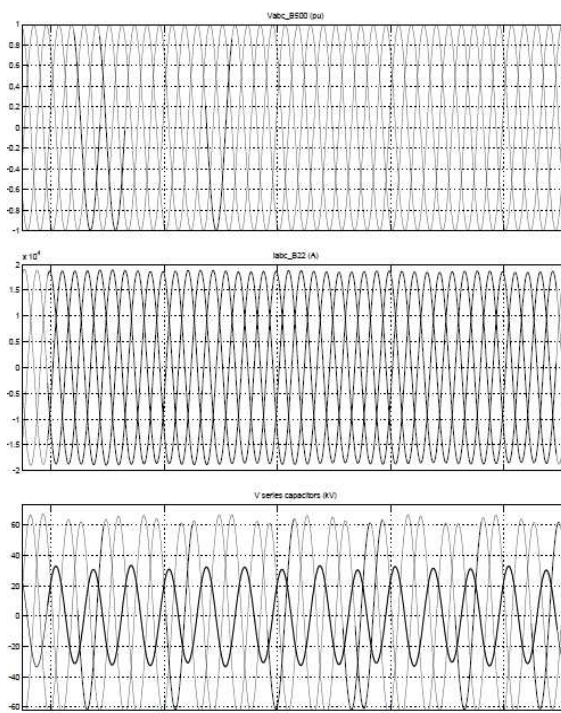


شکل ۴. سیستم شبیه‌سازی شده با خازن ثابت



شکل ۵. سیستم شبیه‌سازی شده با TCSC تک فاز

ابتدا عملکرد سیستم در حالت ماندگار بررسی شده است. شکل ۶ به ترتیب ولتاژها، جریان‌های سه‌فاز و ولتاژ خازن‌ها را نشان می‌دهد.



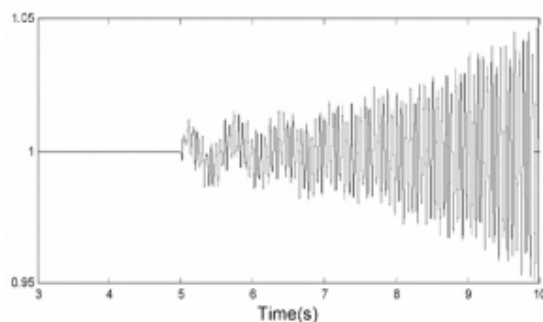
شکل ۶. عملکرد سیستم در حالت ماندگار (الف) ولتاژهای سه‌فاز، (ب) جریان‌های سه‌فاز، (ج) ولتاژهای خازن‌های جبران‌سازی مشاهده می‌گردد که ولتاژ هر سه خط به صورت متعادل و یک پریودیت می‌باشد، این موضوع برای جریان‌های هر سه فاز نیز قابل مشاهده است. همچنین با توجه به شکل سوم ملاحظه می‌گردد که ولتاژ خازن و TCSC با یکدیگر از لحاظ اندازه و فاز برابر و با دامنه نصف فازهای دیگر می‌باشند که در نتیجه مجموع آن‌ها ولتاژ متعادل دو سر خازن‌های جبران‌سازی را نشان می‌دهد. بنابراین سیستم در شرایط ماندگار به صورت متعادل و متقارن عمل می‌کند.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

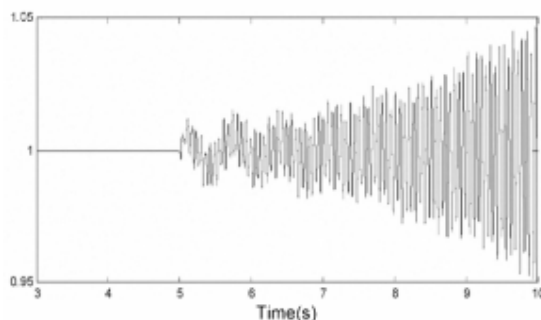
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

به منظور بررسی شرایط کار سیستم در زمان بروز نوسانات زیرسکرون، یک خطای اتصال کوتاه به صورت سه فاز در شین متصل به ژنراتور اتفاق می افتد. اگر در این شرایط کنترلی روی تریستورها وجود نداشته باشد، رفتار سیستم مانند جبران سازی با خازن ثابت بوده و افزایش نوسانات سرعت روتور قابل مشاهده است (شکل ۷). اما با اعمال روش کنترلی SVR بر روی سیستم تحت مطالعه، این نوسانات کاهش می یابد و موثر بودن این روش قابل مشاهده است (شکل ۸).



شکل ۷- نوسانات سرعت پریونیت بدون کنترل خازن ها



شکل ۸ - نوسانات سرعت پریونیت با کنترل TCSC تکفاز

۶. نتیجه گیری و پیشنهادها

در این مقاله با استفاده از کنترل زاویه آتش تریستورها در TCSC و در نتیجه کنترل امپدانس آن، علاوه بر افزایش قابلیت انتقال توان، عملکرد دینامیکی سیستم در مواجهه با نوسانات زیرسکرون بهبود یافت. این نوسانات که به دلیل تشدید بین خازن جبران سازی و اندوکتانس های سیستم (شامل اندوکتانس خط، ترانسفورماتور و ژنراتور) به وجود می آید، می تواند صدمات جدی به سیستم و محور ژنراتور وارد کند. با استفاده از طرح ارائه شده در این مقاله، علاوه بر کاهش نوسانات زیرسکرون، به دلیل تکفاز بودن TCSC کاهش قابل ملاحظه ای در هزینه های ناشی از پایدارسازی دینامیکی نسبت به حالت سه فاز به وجود می آید. همچنین کاهش تعداد تریستورها نسبت به حالت سه فاز، باعث افزایش قابلیت اعتماد سیستم می گردد.

با شبیه سازی طرح ارائه شده در یک سیستم نمونه، کارآمد بودن روش نیز تایید گردید. همچنین در این طرح، با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه بهبود یافته در روش کنترلی SVR افزایش بیشتری در میرایی سیستم را شاهد خواهیم بود. جهت ادامه کار پیشنهاد می گردد که با استفاده از کنترل کننده های پیچیده تر، مقدار نوسانات را به حداقل ممکن رساند. همچنین از این طرح می توان در کاهش نوسانات مربوط به توان (power swing) نیز استفاده نمود.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

منابع

- [1] P.M. Anderson, B.L. Agrawal, J.E. Vanness, "Sub synchronous resonance in power systems", IEEE Press, 1990.
- [2] M. Abdeen et al., "Investigation on TCSC Parameters and Control Structure for SSR Damping in DFIG-Based Wind Farm," 2021 12th International Renewable Energy Congress (IREC), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/IREC52758.2021.9624934.
- [3] Kaustav Dey, Mukesh Kumar Das, A.M. Kulkarni, "Comparison of dynamic phasor, discrete-time and frequency scanning based SSR models of a TCSC", Electric Power Systems Research, Volume 196, 2021, 107237.
- [4] C.E.J. BOWLER, D.H. BAKER, N.A. MINCER, P.R. VANDIVEER, "Operation and test of the Navajo SSR protective equipment", IEEE Trans. Power Appar. Systems, pp. 1030–1035, 1978
- [5] Tiwari V.K., Gupta A.R. (2021) Application of SVC and STATCOM for Wind Integrated Power System. In: Kumar J., Jena P. (eds) Recent Advances in Power Electronics and Drives. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 707. Springer.
- [6] Fayez, M., Bendary, F., El-Hadidy, M. et al. Coordinated fuzzy operation of battery energy storage and resistive brake for mitigation of SSR oscillations. Journal of Electrical Systems and Inf Technol 8, 8 (2021).
- [7] M. R. Islam, J. Hasan, M. R. Islam, A. Z. Kouzani and M. A. P. Mahmud, "Transient Performance Augmentation of DFIG Based Wind Farms by Nonlinear Control of Flux-Coupling-Type Superconducting Fault Current Limiter," in IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 31, no. 8, pp. 1-5, Nov. 2021.
- [8] D. Rai, S.O. Faried, G. Ramakrishna, A. Edris, " Hybrid series compensation scheme capable of damping subsynchronous resonance", IET Gener. Transm. Distrib., 2010, Vol. 4, Iss. 3, pp. 456–466.
- [9] N. G. Hingorani and L. Gyugyi, "Understanding FACTS", New York, IEEE Press, 2000.
- [10] M. M. Eusuff, K. Lansey, F. Pasha, "Shuffled frog-leaping algorithm: a mimetic meta-heuristic for discrete optimization", Engineering Optimization, Vol. 38, No. 2, pp.129–154, 2006.
- [11] H. Xie and L. Ångquist, "Synchronous voltage reversal control of TCSC-Impact on SSR conditions", in Proc. Nordic Workshop Power and Industrial Electronics (NORPIE), 2004.
- [12] M. Eslami, B. Babaei, H. Shareef, M. Khajehzadeh and B. Arandian, "Optimum Design of Damping Controllers Using Modified Sperm Swarm Optimization," in IEEE Access, vol. 9, pp. 145592-145604, 2021.
- [13] LIU Q., ZHOU C., ANGQUIST L., R. C. "A novel active damping control of TCSC for SSR suppression in a radial corridor", Proc. 2008 IEEE Int. Conf. Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, DRPT 2008, Nanjuing, China, 6–9 April 2008, p.p. 136–142.
- [14] IEEE Subsynchronous Resonance Working Group of the Dynamic System Performance Subcommittee, Power System Engineering Committee, "Second benchmark model for computer simulation of subsynchronous resonance," IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-104, pp. 1057–1066, 1985.