Archive of SID

استفاده از الگوریتم رقابت استعماری به منظور بهبود قابلیت بارگذاری ایمن با TCSC در سیستم انتقال برای مدل حوضچه و ترکیبی

احسان افضلان[۱] و محمود جورابیان[۲]

۱- کارشناس ارشد مهندسی برق قدرت، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
Ehsan.afzalan@ymail.com
۲- استاد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
mjoorabian@scu.ac.ir

چکیده: این مقاله الگوریتمی برای مکانیابی بهینه و کنترل ادوات انتقال AC انعطاف پذیر (FACTS) برای بهبود بارپذیری در سیستم انتقال با استفاده از الگوریتم PSO و رقابت استعماری (ICA) برای مدل حوضچه و ترکیبی در بازار برق مقررات زدایی شده پیشنهاد می‌کند. این رویکرد از معادلات پخش بار AC با قیودی بر روی تولید توان، شارش توان در خط انتقال، اندازه ولتاژ باس‌ها و تنظیمات ادوات FACTS استفاده می‌نماید. قرارداد دو طرفه با استفاده از ماتریس تبادل دو طرفه‌ی ایمن و به کارگیری فاکتور توزیع AC با در نظر گرفتن سهم باس اسلک مدل شده‌اند. در این روش پیشنهادی، شبیه‌سازی‌ها بر روی سیستم تست جدید انگلیس ۳۹ باسه و سیستم IEEE ۱۱۸ باسه انجام شده‌اند. مقایسه‌ها بر اساس بیشینه‌ی بارپذیری، زمان محاسباتی انجام شده‌اند. نتیجه‌ی شبیه‌سازی به دست آمده نشان می‌دهد که با جایابی بهینه و کنترل TCSC، با استفاده از ICA، می‌توان بار پذیری سیستم انتقال را با زمان محاسباتی کمتر نسبت به استفاده از PSO بهبود داد. این مطالعه‌ی مقایسه‌ای به این نتیجه می‌رسد که با مکانیابی بهینه و کنترل TCSC، استفاده از ICA برای بهبود قابلیت بار پذیری ایمن در سیستم انتقال مدل حوضچه و ترکیبی بازارهای برق مقررات زدایی شده مؤثرتر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: بهبود قابلیت بارپذیری، جبرانساز سری کنترل شده با تایریستور (TCSC)، الگوریتم رقابت استعماری (ICA)، الگوریتم جستجوی ذرات(PSO)، مدل حوضچه، مدل ترکیبی، ماتریس تبادلات دو طرفه ایمن

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر تقاضای انرژی الکتریکی به سرعت افزایش یافته و شرکت‌های برق نیازمند تأمین تقاضای بیشتری از طریق شبکه‌های خود و نیز حفظ ایمنی سیستم هستند. حق مالکیت‌های محیطی و مسایل هزینه‌ای موانع اصلی در وسعت یافتن شبکه‌های انتقال توان هستند. بنابراین علاقه و توجه به استفاده‌ی بهتر از قابلیت‌های سیستم قدرت موجود وجود دارد. ادوات انتقال AC انعطاف پذیر (FACTS)[۱] به دلیل پیشرفت‌های اخیر در الکترونیک قدرت توجه زیادی در سیستم انتقال به دست آورده‌اند. یکی ازموارد کاربرد ادوات FACTS , کاهش جریان‌ها در خطوط با بارگیری سنگین است که منجر به بارپذیری بیشتر، تلفات سیستم کمتر و بهبود پایداری نیازهای موجود در قراردادها با کنترل شارش توان در شبکه می‌شود [۱و۲].

در بازار برق مقررات زدایی شده سه مدل به نام مدل حوضچه، دو طرفه و ترکیبی وجود دارند. مدل حوضچه مدلی است که یک مشتری می‌تواند برق را از ژنراتورهای رقیب در

[۱] نام نویسنده‌ی مسئول: احسان افضلان
تاریخ ارسال مقاله: ۹۲/۰۳/۲۳
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۳/۱۰/۲۴
نشانی نویسنده مسئول : ایران – اهواز – دانشگاه شهید چمران – دانشکده فنی و مهندسی

www.SID.ir

Archive of SID

بازار، باز خرید نموده و آن را در یک قیمت با پاکسازی قیمت یکسان به مشتری‌ها یا مصرف کنندگان بفروشد. در مدل دو طرفه، تراکنش‌ها مستقیماً مابین خریدار و فروشنده رخ می‌دهند. مدل ترکیبی خصوصیات مختلف مدل حوضچه و دو طرفه را ترکیب می‌کند. در مدل ترکیبی، مشتری بر حسب راحتی خود قابلیت مذاکره در مورد یک توافق تأمین توان به صورت مستقیم با تأمین کنندگان و یا انتخاب تأمین توان از بازار حوضچه را دارد [۴].

در بین ادوات FACTS ، جبرانساز سری کنترل شده با تایریستور TCSC[۲] دارای پتانسیل کاربردی زیادی در تنظیم دقیق شارش توان روی خط انتقال، میرا سازی نوسانات بین ناحیه‌ای، حذف تشدید زیر سنکرون و بهبود پایداری گذرا است.TCSC قادر به تصحیح امپدانس خط و بنابراین کنترل شارش توان است. این امر موقعیتی برای آزاد سازی خطوط با بارگیری سنگین و بهبود بارپذیری فراهم می‌آورد [۳].

روش‌های مختلفی برای تعیین مکان بهینه و کنترل ادوات FACTS برای بهبود بارپذیری سیستم انتقال برای مدل حوضچه استفاده شده‌اند. رویکرد مبتنی بر حساسیت برای مکانیابی جبرانساز سری کنترل شده با تایریستور (TCSC) کنترلر شارش توان یکپارچه UPFC[۳] به منظور بهبود بارپذیری سیستم انتقال با در نظر گرفتن حساسیت‌های ولتاژ و زاویه نسبت به تغییرات بار سیستم پیشنهاد شده است [۵]. پخش توان پیوسته CPF[۴] برای به دست آوردن اندازه و موقعیت‌های جبرانسازهای سری به منظور افزایش حد بارپذیری سیستم استفاده شده است. این مطالعه خطوط بحرانی را که می‌توانند منجر به شروع خروج از مدار خطوط شوند و نیز مکان و تنظیمات پارامتری بهینه‌ی جبرانگرهای سری را شناسایی می‌کند [۶]. روش‌های پخش بار بهینه OPF[۵] مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی ترکیبی عدد صحیح MILP[۶] به منظور تعیین بیشینه‌ی بارپذیری با استفاده از ترانسفورمر شیفت دهنده‌ی فاز کنترل شده با تایریستور TCPST[۷] برای مدل حوضچه استفاده شده‌اند.

برای مدل ترکیبی، یک ساختار ریاضی عمومی به منظور تحلیل و مدیریت تبادلات توان تحت دسترسی باز و تحت قیود امنیت سیستم ارائه شده که مفاهیم شبکه‌ای مجازی از تبادلات و ماتریس تبادلات را معرفی می‌کند [۸]. مدل یک قرارداد(تبادل) دو طرفه‌ی خالص از طریق ماتریس تبادل ایمن تعریف شده و به یک شبکه‌ی فیزیکی مبتنی بر پخش بار DC با استفاده از فاکتور توزیع DC اعمال شده است که نتیجه می‌گیرد که ماتریس تبادل ایمن وسیله‌ای موثر برای مطالعه روابط پیچیده مابین قراردادهای دو طرفه و ایمنی سیستم خواهد بود [۹]. مناسب بودن یک شبکه‌ی مقررات زدایی شده بر مبنای مفهوم تبادلات تحقق پذیر و ایمن و پیشرفت آن با استفاده از ادوات FACTS آزموده شده است [۱۰]. یک مدل پخش بار بهینه‌ی تک مرحله‌ای که تبادلات حوضچه‌ای را ترکیب با تبادلات دو طرفه پخش بار کرده و در عین حال هزینه را کمینه می‌کند و همچنین تلفات و تراکم را در نظر می‌گیرد اجرا شده است. در این جا تبادلات دو طرفه، محکم و دارای حق انتقال از قبل تأیید شده فرض می‌شوند که در آن عملیات حوضچه به نحوی تنظیم را انجام می‌دهد که تلفات و تراکم ترکیبی را برآورده کند [۱۱]. بهبود بارپذیری با استفاده از تعداد و مکان بهینه‌ی ادوات FACTS برای تبادلات ترکیبی حوضچه و دو طرفه با استفاده از برنامه ریزی غیر خطی ترکیبی عدد صحیح MINLP[۸] با به کارگیری ماتریس تبادل دو طرفه‌ی ایمن با استفده از فاکتور توزیعDC تعیین شده است [۱۲]. برای تعیین ماتریس تبادل دوطرفه‌ی ایمن، فاکتور توزیع DC ممکن است دقیق نباشد زیرا بسته با پارامترهای شبکه ثابت است. روش جدید ماتریس تبادل دو طرفه‌ی ایمن برای مدل ترکیبی با استفاده از فاکتور توزیع AC با سهم باس اسلک تعیین شده است [۱۳].

روش‌های هوشمند محاسباتی مبتنی بر جمعیت از جمله الگوریتم ژنتیک GA[۹])، برنامه‌ریزی تکاملی EP[۱۰]) و بهینه‌سازی جستجوی ذرات PSO[۱۱]) برای تعیین بیشینه بارپذیری سیستم انتقال با استفاده از ادوات FACTS برای مدل حوضچه استفاده شده‌اند. الگوریتم ژنتیک به منظور جستجوی همزمان موقعیت‌ها، انواع و تنظیمات پارامترهای ادوات FACTS برای تعیین بیشینه‌ی بارپذیری به شرط حدود حرارتی و ولتاژی به کار برده شده است [۱۴]. همچنین از GA برای تعیین مکان و تنظیمات بهینه‌ی ادوات FACTS با در نظر گرفتن هزینه‌ی تولید و هزینه‌ی سرمایه گذاری به کار برده شد [۱۵،۱۶]. روش برنامه‌ریزی تکاملی برای به دست آوردن مکانیابی بهینه‌ی ادوات FACTS چند نوعه

www.SID.ir

Archive of SID

برای بیشینه‌سازی همزمان قابلیت انتقال کل و در عین حال کمینه‌سازی تلفات توان حقیقی کل سیستم پیشنهاد شد و نتایج در مقایسه با روش اندیس حساسیت تلفات بهتر هستند [۱۷]. مکان بهینه برای ادوات FACTS یک نوعه و چند نوعه برای بهبود بارپذیری سیستم با حداقل هزینه‌ی نصب با استفاده از PSO تعیین شده است [۱۸]. یک روش بهینه‌سازی ترتیبی (OO)[۱۲] که از روش بهینه‌سازی PSO با همگرایی تضمین شده (GCPSO)[۱۳] استفاده می‌کند همچنین به منظور بهبود بارپذیری سیستم با استفاده از ادوات FACTS برای کاهش تلاش محاسباتی پیشنهاد شده است [۱۹].

مرور مراجع قبلی که در مورد مکانیابی و کنترل بهینه ادوات FACTS با استفاده از روش‌های مختلف هستند نشان می‌دهد که مطالعات به منظور بهبود بارپذیری سیستم انتقال، کمینه‌سازی هزینه‌ی نصب یا هر دو انجام شده‌اند. ولی مطالعات کمتری در مورد زمان محاسباتی و مشخصه‌ی بهبود بار پذیری با استفاده از روش‌های بالا وجود دارند. این از آن جهت است که زمان محاسباتی با افزایش اندازه‌ی مساله‌ی بهینه‌سازی افزایش می‌یابد. بنابراین روشی با حل دارای کیفیت بالا همراه با زمان محاسباتی کمتر و همگرایی پایدار مورد نیاز است.

بررسی حالت پایدار بهبود بارپذیری با استفاده از ادوات FACTS برای مدل‌های حوضچه و ترکیبی نیازمند الگوریتم بهینه‌سازی با قابلیت‌های زیر را دارد:

۱) بتواند با متغیرهای عدد صحیح و گسسته کار کند.

۲) دارای پارامترهای کنترلی کمی باشد.

۳) دارای تنظیم پارامترهای یکسانی برای مسائل مختلف باشد.

۴) حل بهینه را صرف نظر از مقادیر اولیه‌ی پارامترها فراهم کند.

۵) به صورت سازگار همان نتیجه‌ی دقیق را حتی پس از تلاش‌های بسیار به دست دهد، بنابراین یک تلاش برای به دست آوردن نتیجه کافی باشد.

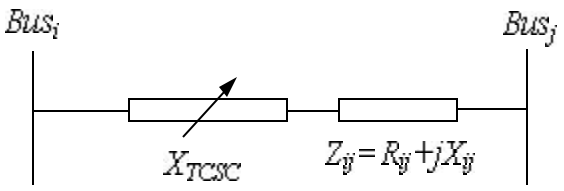
۶) مشخصه‌های همگرایی سریعتر

۷) زمان محاسباتی کمتر

از مطالعه مراجع قبلی ملاحظه شد که الگوریتم‌های مختلف تکاملی که برای مطالعه‌ی بهبود بارپذیری اعمال شده‌اند فاقد تعداد کمی از ویژگی‌های بالا هستند. اخیراً یک روش تکاملی جدید با متغیرهای کنترلی اندک به منظور کمینه‌سازی توابع فضایی پیوسته‌ی غیر خطی و غیر دیفرانسیل پذیر ایجاد شده که به عنوان الگوریتم رقابت استعماری (ICA)[۱۴] شناخته می‌شود [۲۰]. الگوریتم ICA با داشتن تمامی ویژگی‌های ذکر شده در بالا تاکنون توسط هیچ محققی برای بهبود بارپذیری مدل حوضچه و ترکیبی استفاده نشده است. در این مطالعه، بهبود بارپذیری مدل حوضچه و ترکیبی با TCSC با استفاده از ICA انجام شده و عملکردها از دیدگاه زمان محاسباتی و بیشینه‌ی بارپذیری با روش PSO مقایسه می‌شوند. در این مطالعه، روش ICA به مساله‌ی بهبود بارپذیری اعمال شده و عملکردها با روش PSO مقایسه شده‌اند، در حالی که هیچ تغییر و اصلاحی در روش ICA انجام نشده است. برای مدل ترکیبی ماتریس تبادل دو طرفه‌ی ایمن با استفاده از فاکتور توزیع AC با در نظر گرفتن تأثیر باس اسلک تعیین شده است. رویکرد پیشنهادی بر روی سیستم تست جدید ۳۹ باسه‌ی انگلیس و سیستم ۱۱۸ باسه IEEE شبیه‌سازی شده است. مقایسه‌ها از دیدگاه بیشینه بارپذیری، زمان محاسباتی انجام شده‌اند.

۲- مدلسازی استاتیکی جبرانساز سری کنترل شده با تایریستور (TCSC)

TCSC، متشکل از خازن جبرانساز سری شنت شده با راکتور کنترل شده با تایریستور است. این قطعه به عنوان یک راکتانس قابل کنترل مدل می‌شود که به صورت سری با خط انتقال قرار داده می‌شود تا امپدانس خط را تنظیم کند و در نتیجه شارش توان را کنترل کند تا بارپذیری را افزایش دهد [۱۶،۱۸]. بلوک دیاگرام TCSC در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱): بلوک دیاگرام TCSC

www.SID.ir

Archive of SID

$$X_{ijnew} = X_{ij} + X_{TCSC} \quad (۱)$$

که در آن X_{ijnew} راکتانس پس از قرار دادن TCSC، Z_{ij} امپدانس خط انتقال و X_{TCSC} راکتانس TCSC است.

۳- بهبود بارپذیری برای مدل حوضچه

۳-۱- تابع هدف

هدف، تعیین مکان بهینه و کنترل TCSC برای بهبود بارپذیری ایمن در سیستم انتقال برای مدل حوضچه در بازار برق مقررات زدایی شده با ارضای قیود تساوی و نامساوی است. بارهای توان اکتیو و راکتیو به صورت همزمان با فاکتور بارپذیری λ به نسبت یکسان افزایش داده می‌شوند. مقدار λ از مقدار حالت پایه (۱ پریونیت) به مقدار بیشینه بدون تخطی از قیود تغییر می‌کند.

بیشینه کن λ را:

$$Max: \lambda \quad (۲)$$

که در آن λ فاکتور بارپذیری بر حسب پریونیت است.

۳-۲- قیود تساوی

معادلات توازن توان اکتیو و راکتیو با فاکتور بارپذیری:

$$P_{gi} - \lambda P_{di} = P, \forall i \in n_b \quad (۳)$$

$$Q_{gi} - \lambda Q_{di} = Q_i, \forall i \in n_b \quad (۴)$$

که در آن n_b تعداد کل باس‌ها، P_g توان حقیقی تولیدی، P_d توان حقیقی مورد تقاضا، Q_g توان راکتیو تولیدی، Q_d توان راکتیو مورد تقاضا، P_i توان اکتیو تزریقی و Q_i توان راکتیو تزریقی است.

۳-۳- قیود نامساوی

قید توان حقیقی تولیدی:

$$P_{gi}^{\min} \le P_{gi} \le P_{gi}^{\max}, \forall i \in n_g \quad (۵)$$

قید توان راکتیو تولیدی:

$$Q_{gi}^{\min} \le Q_{gi} \le Q_{gi}^{\max}, \forall i \in n_g \quad (۶)$$

قید ولتاژ باس:

$$\left|V_i^{\min}\right| \le |V_i| \le \left|V_i^{\max}\right|, \forall i \in n_b \quad (۷)$$

قید شارش توان ظاهری خط انتقال:

$$|S_l| \le \left|S_l^{\max}\right|, \forall l \in n_l \quad (۸)$$

قید راکتانس TCSC:

$$-0.8X_{ij} \le X_{TCSC} \le 0.2X_{ij}\, pu. \quad (۹)$$

البته فرمول‌بندی پیشنهاد شده برای درجات مختلفی از جبران‌سازی سری برای TCSC قابل تغییر است که در این مطالعه به صورت پیش فرض برای سیستم تست حدود خازن سری به نحوی اتخاذ شده‌اند که نسبت بیشینه‌ی حد خازن سری به راکتور خط مساوی یا بیشتر از ۵۰٪ باشد(به دلیل استفاده این نسبت جبران سازی در شبیه‌سازی‌های موجود در مقالات معتبر مختلف)

که در آن n_g تعداد کل ژنراتورها، n_l تعداد کل خطوط انتقال، $P_g^{\min}$ و $P_g^{\max}$ حدود کمینه و بیشینه‌ی توان حقیقی تولیدی، $Q_g^{\min}$ و $Q_g^{\max}$ حدود کمینه و بیشینه‌ی توان راکتیو تولیدی، $\left|V_i^{\min}\right|$ و $\left|V_i^{\max}\right|$ حدود کمینه و بیشینه‌ی اندازه‌ی ولتاژ باس، $|V|$ اندازه‌ی ولتاژ باس، S شارش توان ظاهری و $S^{\max}$ حد بیشینه شارش توان ظاهری است.

۴- بهبود بارپذیری برای مدل ترکیبی

فرمول بندی عمومی مسأله برای مدل ترکیبی متشکل از دو گام است. در گام اول ماتریس تبادل دو طرفه‌ی ایمن با فاکتور توزیع AC و در نظر گرفتن تأثیر باس اسلک برای مدل دو طرفه‌ی بدون اتلاف تعیین شده است و در گام دوم، بهبود بارپذیری همراه با TCSC تعیین گردیده است. در این

www.SID.ir

Archive of SID

تحقیق، تقاضای کل توان به صورت برابر به قراردادهای حوضچه و دو طرفه اختصاص یافته است.

۴-۱- تعیین ماتریس تبادل دو طرفه ایمن

مدل قرارداد دو طرفه‌ی بدون اتلاف با استفاده از قراردادها به صورت متغیرهای کنترل پذیر و حدود امنیت سیستم به عنوان قیود اجباری فرمول بندی شده است [۹]. برخی ویژگی‌های ذاتی متناظر با این ماتریس تبادلات از جمله قواعد ستون، سطر، بازه و شارش وجود دارند [۸،۹]. تبادلات دو طرفه مابین فروشندگان و خریداران ایمن فرض می‌شوند فقط اگر ماتریس تبادلات تمامی ویژگی‌های ذاتی را ارضا نماید.

۴-۱-۱- تابع هدف

هدف یافتن ماتریس تبادلات دو طرفه T است که دارای انحراف کلی کمینه از ماتریس تبادلات پیشنهادی T^0 با ارضای قیود تساوی و نامساوی است.

$$Min\sum_i\sum_i b_{ij}\left|t_{ij}-t_{ij}^0\right|^2 \qquad (۱۰)$$

که در آن t_{ij}^0، ij امین عنصر ماتریس تبادلات پیشنهادی T^0، ij امین عنصر ماتریس تبادلات دو طرفه‌ی ایمن T و b_{ij} ثابتی است که برای تمامی جملات (i,j) برابر با ۱ فرض می‌شود.

۴-۱-۲- قیود تساوی

معادلات توازن توان اکتیو و راکتیو:

$$P_{gi}-P_{di}=P_i,\forall j\in n_b \qquad (۱۱)$$

$$Q_{gi}-Q_{di}=Q_i,\forall j\in n_b \qquad (۱۲)$$

توان حقیقی تولیدی برای تبادلات دو طرفه:

$$P_{gbi}=\sum_j t_{ij},\forall j\in n_b \qquad (۱۳)$$

توان حقیقی مورد تقاضا برای تبادلات دو طرفه:

$$P_{db}=\sum_i t_{ij},\forall i\in n_b \qquad (۱۴)$$

معادله توازن توان حقیقی برای تبادلات دو طرفه:

$$\sum_i P_{gbi}=\sum_j P_{dbj} \qquad (۱۵)$$

معادلات توان حقیقی برای مدل ترکیبی:

$$P_{gi}=P_{gpi}+P_{gbi} \qquad (۱۶)$$

$$P_{dj}=P_{dpj}+P_{dbj} \qquad (۱۷)$$

معادلات پخش توان برای مدل‌های دو طرفه، حوضچه و ترکیبی:

$$P_{fb}=ACDF(P_{gb}-P_{db}) \qquad (۱۸)$$

$$P_{fp}=ACDF(P_{gp}-P_{dp}) \qquad (۱۹)$$

$$P_f=P_{fb}+P_{fp} \qquad (۲۰)$$

که در آن P_{gb} توان حقیقی تولیدی دو طرفه، P_{db} تقاضای توان حقیقی دو طرفه، P_{gp} توان حقیقی تولیدی حوضچه، P_{dp} تقاضای توان حقیقی حوضچه، $ACDF$ فاکتور توزیع AC، P_{fb} شارش توان حقیقی دو طرفه، P_{fp} شارش توان حقیقی حوضچه و P_f شارش کل توان حقیقی است.

۴-۱-۳- قیود نامساوی

حد تولید توان حقیقی:

$$P_{gi}^{\min}\le P_{gi}\le P_{gi}^{\max},\forall i\in n_g \qquad (۲۱)$$

قید تولید توان راکتیو:

$$Q_{gi}^{\min}\le Q_{gi}\le Q_{gi}^{\max},\forall i\in n_g \qquad (۲۲)$$

قید ولتاژ باس:

$$\left|V_i^{\min}\right|\le\left|V_i\right|\le\left|V_i^{\max}\right|,\forall i\in n_b \qquad (۲۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID

حد شارش توان ظاهری:

$$|S_l| \le |S_l^{\max}|, \forall l \in n_l \quad (۲۴)$$

حد تبادل دوطرفه:

$$0 \le t_{ij} \le t_{ij}^{\max} \quad (۲۵)$$

که در آن $t_{ij}^{\max}$ بیشینه‌ی حد برای هر تبادل است.

۴-۱-۴- فاکتور توزیع AC

فاکتور توزیع AC به صورت تغییرات در شارش توان حقیقی در خط انتقال متصل مابین باس i ام و jام (ΔP_{ij}) ناشی از تغییر واحد در تزریق توان در هر باس n (ΔP_n) است.

$$ACDF_n^{ij} = \frac{\Delta P_{ij}}{\Delta P_n} \quad (۲۶)$$

برای قضاوت منصفانه در محیط رقابتی، حساسیت شارش خط در باس اسلک متناظر با تزریق‌ها در باس اسلک نباید صفر باشد. برای رسیدن به این هدف یک فاکتور جابجایی به صورت تعریف شده در [۱۳] به دست آمده و با مقادیر محاسبه شده‌ی $ACDF$ جمع شده است. مقادیر اصلاح شده $ACDF$ به دست آمده عبارتند از:

$$(ACDFs_n^k)^{new} = (ACDFs_n^k) + P_shiftfacto\ r \quad (۲۷)$$

$$P_shiftfactor = -\frac{1}{2}\left(\frac{\partial P_{ij}}{\partial P_i} + \frac{\partial P_{ij}}{\partial P_j}\right) \quad (۲۸)$$

۴-۲- بهبود بارپذیری با TCSC برای مدل ترکیبی

۴-۲-۱- تابع هدف

هدف تعیین مکان بهینه و کنترل TCSC برای بهبود بارپذیری ایمن در سیستم انتقال برای مدل ترکیبی در بازار برق مقررات زدایی شده با ارضای قیود تساوی و نامساوی است. بارهای توان حقیقی و راکتیو به صورت همزمان با فاکتور بارپذیری λ_p به نسبت یکسان برای تبادلات حوضچه افزایش یافته و بارهای توان حقیقی با فاکتور بارپذیری λ_b برای تبادلات دوطرفه افزایش داده می‌شوند. بارهای توان راکتیو تبادلات دوطرفه توسط اپراتور مستقل سیستم [۱۵](ISO) کنترل می‌شوند. برای سیستم ترکیبی فاکتورهای بارپذیری برای تبادلات حوضچه و دوطرفه به صورت جداگانه بیشینه شده‌اند [۱۲].

بیشینه کن:

$$(\lambda_p, \lambda_b) \quad (۲۹)$$

که در آن λ_p و λ_b فاکتورهای بارپذیری برای تبادلات حوضچه و دوطرفه بر حسب پریونیت هستند.

۴-۲-۲- قیود تساوی

معادلات توازن توان حقیقی و راکتیو با فاکتورهای بارپذیری:

$$P_{gi} - \lambda_b P_{dbi} - \lambda_b P_{dpi} = P_i, \forall i \in n_b \quad (۳۰)$$

$$Q_{gi} - \lambda_b Q_{dbi} = Q_i, \forall i \in n_b \quad (۳۱)$$

تولید توان حقیقی برای تبادلات دوطرفه:

$$P_{gbi} = \lambda_b \sum_i t_{ij}, \forall i \in n_b \quad (۳۲)$$

همچنین قیود تساوی ماتریس تبادلات دو طرفه‌ی ایمن از معادلات (۱۴) تا (۲۰) نیز در نظر گرفته می‌شوند.

۴-۲-۳- قیود نامساوی

قید راکتانس TCSC:

$$-0.8X_{ij} \le X_{TCSC} \le 0.2X_{ij}\ pu. \quad (۳۳)$$

همچنین قیود نامساوی ماتریس تبادلات دو طرفه‌ی ایمن از معادلات (۲۱) تا (۲۵) نیز در نظر گرفته می‌شوند.

البته مطابق آنچه که در فوق اشاره شد در این مطالعه به صورت پیش فرض حدود خازن سری به نحوی اتخاذ شده‌اند که نسبت بیشینه‌ی حد خازن سری به راکتور خط مساوی یا بیشتر از ۵۰٪ باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

۵- اجـرای PSO بـرای بهبـود بارپـذیری بـا TCSC

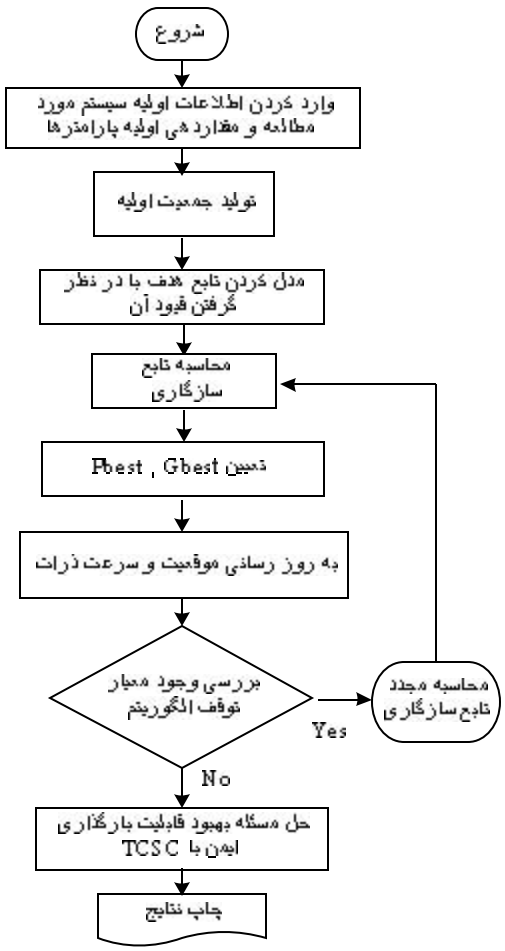
الگوریتم اجتماع یا ازدحام ذرات، الگوریتم بهینه‌ساز مبتنی برهوش جمعی اسـت کـه اولـین بـار توسـط دکتـر کنـدی و ابرهارت معرفی شد. این الگـوریتم از حرکـت دسـته جمعـی پرندگان و ماهیان الهام گرفته شده است و به خاطر دارا بـودن این قابلیت که در زمان کوتاهی پاسخهای نسبتا با کیفیت بالا و مناسب ارائـه میدهـد مـورد توجـه پژوهشـگران بـوده اسـت. عملکرد این الگوریتم مبتنی بر حرکت خود هر یـک از ذرات و حرکت دسته جمعی ذرات دیگـر اسـت .هـر ذره از نقطهـای تصادفی شروع به حرکت کرده و با توجه به تجربه خود ذره و دیگر ذرات در گروه به جستجو میپردازد. توضیحات تفصیلی و همچنین نحوه عملکرد الگوریتم و چگونگی مقداردهی به پارامترهـا، نحـوه انتخـاب و تعیـین ضـرایب وزنـی الگوریتم،محاسبه تـابع سـازگاری ،چگـونگی بـروز رسـانی موقعیت و سرعت ذرات در[۱۸] آورده شده است.

با توجه به اینکه الگوریتم جستجوی ذرات(PSO)، تمامی متغیرها را به عنوان متغیرهـای پیوسـته فـرض مـی‌کنـد و از آنجایی که مکان TCSC عددی صحیح است، مقـدار آن بـه نزدیکترین عدد صحیح گرد می‌شود. وقتی قرار باشد بیش از یک TCSC نصب شـود، پـس از تولیـد جمعیـت اولیـه یـا جمعیت جدید، چک می‌شود که فقط یکی از ادوات در هـر خط قرار داده شده است [۱۸]. داده‌های خط و داده‌های باس برای موقعیت و تنظیمات TCSC متناظر بـه روز مـی‌شـوند. پخش بار بهینه (OPF) اجرا شده و شـارش خطـوط، تولیـد توان حقیقی، تولید توان راکتیو و اندازه‌ی ولتاژها بـه دسـت می‌آیند. اگر قیود شارش خط، تولید و ولتاژ ارضا شده باشند، موفقیت برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر است.

در ضمن در مورد روش PSO ،پارامترهای کنترلی PSO عبارتند از:

$N_p = 100$ ،$N_{\max} = 300$ ،$C_1 = 2$ ،$C_1 = 2$ ،$W_{\max} = 1.2$ و $W_{\min} = 0.7$.

فلوچارت الگوریتم جستجوی ذرات در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): فلوچارت الگوریتم جستجوی ذرات

۶- اجـرای ICA بـاری بهبـود بارپـذیری بـا استفاده از TCSC

در ایـن مقالـه، الگـوریتم جدیـدی بـه نـام رقابـت استعماری(ICA) برای جستجوی عام معرفی می‌شود کـه از مدلسازی ریاضی رقابت امپریالیستی الهام گرفته شـده اسـت. بطور خلاصه، این الگوریتم، از چندین کشور در حالت اولیه شروع می‌شود. کشورها در حقیقت جواب‌های ممکن مساله هسـتند و معـادل کرومـوزوم در الگـوریتم ژنتیـک و ذره در بهینه‌سازی گروه ذرات هستند. همه‌ی کشورها، به دو دسـته تقسـیم مـی شـوند: امپریالیسـت و مسـتعمره. کشـورهای استعمارگر با اعمال سیاست جذب (همگون‌سازی) در راستای محورهای مختلف بهینه‌سـازی، کشـورهای مسـتعمره را بـه سمت خود می‌کشند. رقابـت امپریالیسـتی در کنـار سیاسـت همگون‌سازی، هسته‌ی اصلی این الگوریتم را تشکیل می‌دهد

www.SID.ir

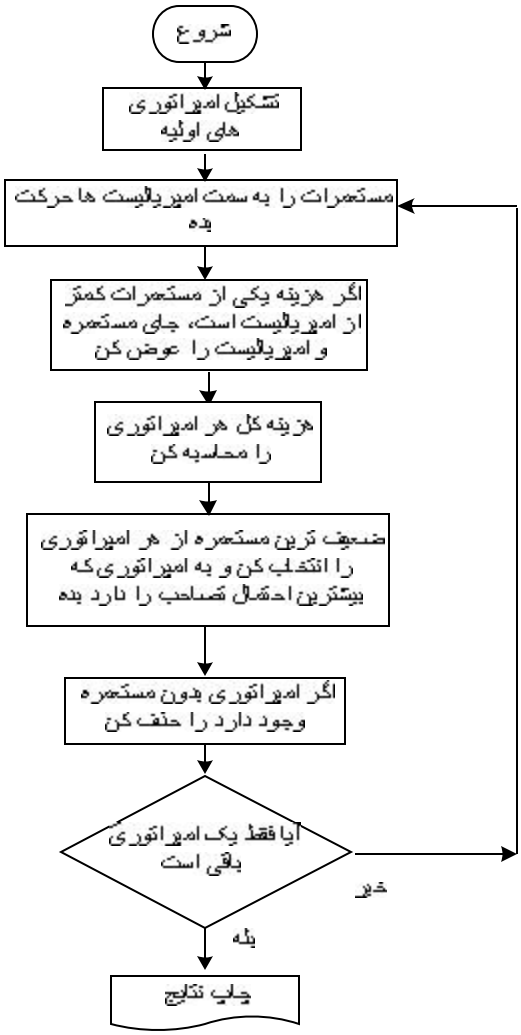
Archive of SID

و باعث می‌شود که کشورها بـه سـمت مینـیمم مطلـق تـابع حرکت کنند.توضیحات تفصیلی و نحوه عملکـرد الگـوریتم در[۲۰] آورده شده است.

ضمنا برای انجام محاسبات پارامترهای الگوریتم ICA به صورت زیر تعریف می‌شوند:

تعـداد کشـورها=۸۰۰، تعـداد امپریالیسـت=۱۸، تعـداد مسـتعمره=۷۸۲ ،تعـداد تکـرار= ۲۰۰، درصـد انقـلاب مستعمرات=۰/۳، همگون سازی= ۲. این الگوریتم را ۱۰ مرتبه اجرار کردیم که بهترین نتایج با پارامترهای بدسـت آمـده در بالا به دست آمد.

فلوچارت الگوریتم رقابت استعماری در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳): فلوچارت الگوریتم رقابت استعماری

۷- نتایج شبیه‌سازی

۷-۱- سیستم‌های تحت مطالعه

کدهای برنامه‌نویسی برای PSO و ICA با استفاده از نرم افـزار MATLAB 7.1 ایجـاد شـده و OPF بـا اسـتفاده از نسخه‌ی اصلاح شده‌ی بسته‌ی شبیه‌سازی قدرت Matlab، در MATPOWER 4 حل شده است [۲۱]. الگوریتم‌هـای PSO و ICA بر روی سیسـتم تسـت جدیـد انگلـیس ۳۹ باسـه و سیستم ۱۱۸ باسه‌ی IEEE آزمایش شده‌اند. شبیه‌سازی‌هـا بـر روی یـک کـامپیوتر بـا پردازنـده‌ی i3، 2.66 GHZ و 3GB RAM اجرا شده‌اند.

۷-۲- سیستم تست ۳۹ باسه جدید انگلیس

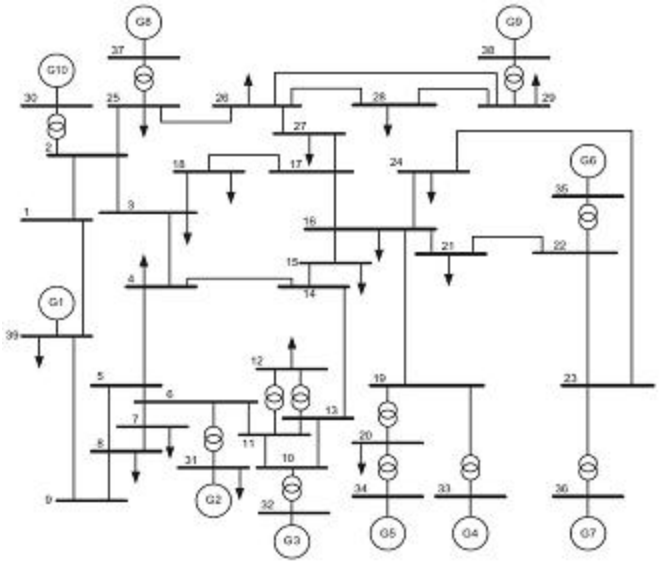
سیستم تست جدید ۳۹ باسـه‌ی انگلـیس نمـایش سـاده شده‌ای از سیستم انتقال ۳۴۵ کیلوولت در ناحیـه‌ی انگلـیس جدید دارای ۱۰ ژنراتور، ۲۱ بار و ۴۶ شاخه (خطوط انتقـال به علاوه‌ی ترانسفورمرها) است. داده‌های سیستم بر مبنـای بیس ۱۰۰ مگاولت آمپر هستند. میزان تقاضای توان حقیقی و راکتیو برای حالت پایه به ترتیب ۶۲۵۴/۲ مگاوات و ۱۳۸۷/۱ مگاوار است. توضیحات تفصیلی در مورد سیستم اشاره شده و همچنین اطلاعـات مربـوط بـه خطـوط و میـزان تولیـد و مصرف در [۲۲] آورده شده است.

دیاگرام تک خطی سیستم مذکور در شـکل ۴ نشـان داده شده است.

جدول (۱) بهبود بارپذیری بـا اسـتفاده از PSO و ICA برای مدل حوضچه در سیستم تست ۳۹ باسه‌ی جدید انگلیس را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۴): دیاگرام تک خطی سیستم ۳۹ باسه‌ی جدید انگلیس

۷-۲-۱- نتایج برای مدل حوضچه

با استفاده از PSO و ICA، بار پذیری، تعداد TCSC ها، مکان بهینه و X_{TCSC}، زمان محاسباتی مطالعه شده و نتایج به دست آمده در جدول ۱ ارائه شده‌اند. بدون TCSC، با استفاده از PSO، بار پذیری ۱/۰۹۱۶۶۴ پریونیت (۶۸۲۷/۵ مگاوات و ۱۵۱۴/۲ مگاوار) به دست می‌آید که زمان محاسباتی ۲۲۱/۸۳ ثانیه بوده است. این در حالیست که با استفاده از ICA همان بار پذیری در زمان محاسباتی ۱۴۲/۸۱ ثانیه به دست آمده است. بیشینه‌ی بار پذیری با استفاده از چهار TCSC در خطوط ۴۰ (۲۳-۲۶)، ۴۲ (۲۶-۲۷)، ۱ (۱-۲) و ۲ (۱-۳۹) به دست آمده است. با چهار TCSC با استفاده از PSO بیشینه‌ی بار پذیری ۱/۱۴۶۴۸۲ پریونیت (۷۱۷۰/۳ مگاوات و ۱۵۹۰/۳ مگاوار) در زمان محاسباتی ۲۵۱/۶۵ ثانیه به دست آمده در حالی که با استفاده از ICA همان بیشینه‌ی بار پذیری در زمان محاسباتی ۱۶۴/۵۳ ثانیه حاصل شده است. هیچ پیشرفت بیشتری در بار پذیری با افزایش تعداد TCSC ها نخواهیم داشت. با استفاده از ICA، زمان محاسباتی ۸۷/۱۲ ثانیه کمتر از روش PSO بوده است.

جدول (۲) ماتریس تبادلات دو طرفه‌ی پیشنهادی برای سیستم تست ۳۹ باسه‌ی جدید انگلیس رانشان می‌دهد.

جدول (۱): بهبود بارپذیری با استفاده از PSO و ICA برای مدل حوضچه در سیستم تست ۳۹ باسه‌ی جدید انگلیس

No. of TCSC	method	0	1	2	3	4	5
Loadability (p.u.)	PSO	1.091664	1.109389	1.129123	1.144734	1.146482	1.146477
	ICA	1.091664	1.109389	1.129123	1.144734	1.146483	1.146477
Location (line number)	PSO	-	40	40, 42	40, 42, 1	40, 42, 1, 2	40, 42, 1, 2, 24
	ICA	-	40	40, 42	40, 42, 1	40, 42, 1, 2	40, 42, 1, 2, 24
X_{TCSC} (p.u.)	PSO	-	- 0.025841	- 0.025841 - 0.011763	- 0.025841 - 0.011763 - 0.011763	-0.025841 -0.011763 -0.032815 -0.014382	-0.025841 -0.011763 -0.032815 -0.014382 -0.002051
	ICA	-	- 0.025841	- 0.025841 - 0.011763	- 0.025841 - 0.011763 - 0.032815	-0.025841 -0.011763 -0.032815 -0.014381	-0.025841 -0.011763 -0.032815 -0.014385 -0.002051
Average computation time(s)	PSO	221.834	258.649	255.904	249.234	251.65	256.786
	ICA	142.810	164.127	166.655	163.541	164.53	160.356

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۲): ماتریس تبادلات دو طرفه‌ی پیشنهادی برای سیستم تست ۳۹ باسه‌ی جدید انگلیس

Value of transaction between generator and load bus (p.u.)				
T (30, 1) = 0.4000	T (30, 3) = 0.3000	T (30, 4) = 1.5000	T (30, 7) = 0.4000	T (30, 8) = 0.4000
T (30, 12) = 0.0426	T (30, 18) = 0.2000	T (30, 25) = 1.0000	T (30, 28) = 0.8000	T (30, 29) = 0.2000
T (30, 31) = 0.0460	T (30, 39) = 1.0000	T (34, 3) = 0.3000	T (34, 15) = 0.8000	T (34, 16) = 0.8200
T (34, 18) = 0.0375	T (34, 20) = 3.0000	T (34, 23) = 0.0375	T (34, 24) = 0.4000	T (34, 27) = 0.5000
T (36, 3) = 0.3000	T (36, 16) = 0.8200	T (36, 21) = 1.3700	T (36, 23) = 1.2000	T (36, 24) = 0.8000
T (37, 3) = 0.3000	T (37, 4) = 0.2000	T (37, 7) = 0.2000	T (37, 8) = 0.6000	T (37, 27) = 0.7000
T (37, 18) = 0.5000	T (37, 28) = 0.2000	T (37, 39) = 0.5200	T (39, 1) = 0.0880	T (39, 3) = 0.3000
T (39, 7) = 0.2000	T (39, 8) = 1.2000	T (39, 9) = 0.0325	T (39, 15) = 0.8000	T (39, 25) = 0.1200
T (39, 26) = 0.6950	T (39, 27) = 0.2000	T (39, 29) = 1.2000	T (39, 39) = 4.0000	

۷-۲-۲- نتایج برای مدل ترکیبی

ماتریس تبادل دو طرفه‌ی پیشنهادی در جدول (۲) ارائه شده و ماتریس تبادل دو طرفه‌ی ایمن تعیین گردیده که در جدول (۳) داده شده است.

جدول (۳) ماتریس تبادلات دو طرفه ایمن در سیستم تست ۳۹ باسه‌ی جدید انگلیس را نشان می‌دهد.

جدول (۴) بهبود بار پذیری با استفاده از PSO و ICA برای مدل ترکیبی در سیستم تست ۳۹ باسه‌ی جدید انگلیس را نشان می‌دهد.

با استفاده از PSO و ICA، بار پذیری تبادلات حوضچه و دو طرفه، تعداد TCSC ها، مکان بهینه و X_{TCSC}، زمان محاسباتی مطالعه شده و نتایج به دست آمده در جدول (۴) ارائه شده‌اند. بدون TCSC، با استفاده از PSO، بار پذیری تبادل حوضچه ۱/۲۵۲۴۹۹پریونیت (۳۹۱۶/۷ مگاوات و ۸۶۸/۷ مگاوار) و بار پذیری تبادل دو طرفه ۱/۰۱۰۹۳۱ پریونیت (۳۱۶۱/۳ مگاوات) به دست می‌آید که زمان محاسباتی ۲۳۳/۷۴ ثانیه بوده است در حالی که با استفاده از ICA همان بار پذیری در زمان محاسباتی ۱۴۸/۶۳ ثانیه حاصل می‌شود. برای مدل ترکیبی، بار پذیری تبادل حوضچه با استفاده از TCSC افزایش می‌یابد در حالی که بار پذیری تبادل دو طرفه با استفاده از TCSC افزایش نمی‌یابد زیرا آن با استفاده از ماتریس تبادل دو طرفه‌ی ایمن بهینه شده است. بیشینه‌ی بار پذیری با استفاده از دو TCSC در خطوط ۴۲ (۲۶-۲۷) و ۳۰ (۱۷-۱۸) برای تبادلات حوضچه به تنهایی به دست آمده است.

با دو TCSC با استفاده از PSO بیشینه‌ی بار پذیری ۱/۲۸۴۵۰۲ پریونیت (۴۰۱۶/۸ مگاوات و ۸۹۰/۹ مگاوار) در زمان محاسباتی ۲۷۵/۴۸ ثانیه به دست آمده است در حالی که با استفاده از ICA همان بیشینه‌ی بار پذیری در زمان محاسباتی ۱۶۵/۷۸ ثانیه حاصل می‌شود.

هیچ پیشرفت بیشتری در بار پذیری با افزایش تعداد TCSC ها نخواهیم داشت. با استفاده از ICA، زمان محاسباتی ۱۰۹/۷۰ ثانیه کمتر از روش PSO بوده است.

جدول (۳): ماتریس تبادلات دو طرفه‌ی ایمن در سیستم تست ۳۹ باسه‌ی جدید انگلیس

Value of transaction between generator and load bus (p.u.)				
T (30, 1) = 0.4000	T (30, 3) = 0.4025	T (30, 4) = 1.9000	T (30, 7) = 0.5230	T (30, 8) = 0.5367
T (30, 12) = 0.0426	T (30, 18) = 0.2450	T (30, 25) = 1.0000	T (30, 28) = 0.8150	T (30, 29) = 0.2088
T (30, 31) = 0.0460	T (30, 39) = 1.0000	T (34, 15) = 0.5744	T (34, 16) = 0.5969	T (34, 20) = 3.4000
T (34, 24) = 0.3459	T (34, 27) = 0.1628	T (36, 3) = 0.4025	T (36, 16) = 1.0481	T (36, 21) = 1.3700
T (36, 23) = 1.2375	T (36, 24) = 1.1971	T (36, 27) = 0.1141	T (37, 18) = 0.5450	T (37, 27) = 0.8141
T (37, 28) = 0.2150	T (37, 3) = 0.4025	T (37, 4) = 0.6000	T (37, 7) = 0.3230	T (37, 8) = 0.7367
T (37, 39) = 0.5200	T (39, 1) = 0.0880	T (39, 3) = 0.4025	T (39, 39) = 4.0000	T (39, 7) = 0.3230
T (39, 8) = 1.3367	T (39, 9) = 0.0325	T (39, 15) = 1.0256	T (39, 25) = 0.1200	T (39, 26) = 0.6950
T (39, 27) = 0.3141	T (39, 29) = 1.2087			

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۴): بهبود بار پذیری با استفاده از PSO و ICA برای مدل ترکیبی در سیستم تست ۳۹ باسه‌ی جدید انگلیس

No. of TCSC	method		0	1	2	3
Loadability (p.u.)	PSO	λ_p	1.252499	1.281720	1.284502	1.284502
		λ_b	1.010931	1.010931	1.010931	1.010931
	ICA	λ_p	1.252499	1.281720	1.284502	1.284502
		λ_b	1.010932	1.010931	1.010931	1.010931
Location (line number)	PSO	-	-	42	42, 30	42, 30, 16
	ICA	-	-	42	42, 30	42, 30, 16
X_{TCSC} (p.u.)	PSO	-	-	-0.01176	-0.01176 -0.01384	-0.01176 -0.01384 0.01723
	ICA	-	-	-0.01176	-0.01176 -0.01384	-0.01176 -0.01384 0.01513
Average computation time(s)	PSO	-	233.74	255.87	275.48	280.65
	ICA	-	148.63	170.41	175.78	187.98

جدول (۵): بهبود بار پذیری با استفاده از PSO و ICA برای مدل حوضچه در سیستم IEEE ۱۱۸ باسه

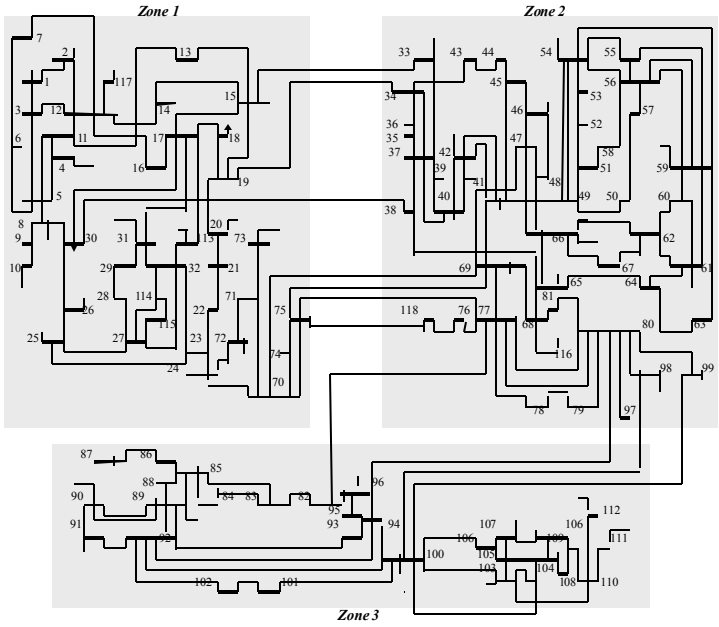
No. of TCSC	method	0	1	2	3	4	5
Loadability (p.u.)	PSO	1.421738	1.432961	1.436142	1.437094	1.439138	1.439140
	ICA	1.421738	1.432961	1.436142	1.437094	1.439139	1.439140
Location (line number)	PSO	-	125	125, 61	125, 61, 181	125, 61, 181, 68	125, 61, 181, 68, 148
	ICA	-	125	125, 61	125, 61, 181	125, 61, 181, 68	125, 61, 181, 68, 148
XTCSC (p.u.)	PSO	-	-0.025680	-0.025680 -0.069165	-0.025680 -0.069165 -0.043302	-0.025680 -0.069165 -0.043302 -0.043845	-0.025680 -0.069165 -0.043302 -0.043845 -0.066713
	ICA	-	-0.025680	-0.025680 -0.069165	-0.025680 -0.069165 -0.043302	-0.025680 -0.069165 -0.043302 -0.043845	-0.025680 -0.069165 -0.043302 -0.043845 -0.066713
Average computation time(s)	PSO	1498.32	2095.65	2146.43	2265.89	2358.69	2342.45
	ICA	811.31	1076.52	1098.33	1066.42	1043.21	1055.62

۷-۳- سیستم ۱۱۸ باسه IEEE

سیستم ۱۱۸ باسه IEEE دارای ۵۴ ژنراتور، ۹۹ بار و ۱۸۶ شاخه (خطوط انتقال به علاوه‌ی ترانسفورمرها) است [۲۴و۲۳]. داده‌های سیستم بر مبنای بیس ۱۰۰ مگاولت آمپر هستند. میزان تقاضای توان حقیقی و راکتیو برای حالت پایه به ترتیب ۴۲۴۲ مگاوات و ۱۴۳۸ مگاوار است. حد شارش توان خط انتقال بر حسب مگاولت آمپر ۱/۵ برابر حالت پایه در نظر گرفته شده است. دیاگرام تک خطی سیستم مذکور در شکل ۵ نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۵): دیاگرام تک خطی سیستم ۱۱۸ باسه‌ی IEEE

جدول (۵) بهبود بار پذیری با استفاده از PSO و ICA برای مدل حوضچه در سیستم IEEE ۱۱۸ باسه نشان می‌دهد.

جدول (۶) ماتریس تبادلات دو طرفه‌ی پیشنهادی در سیستم IEEE ۱۱۸ باسه را نشان می‌دهد.

جدول (۷) ماتریس تبادلات دو طرفه‌ی ایمن در سیستم IEEE ۱۱۸ باسه را نشان می‌دهد.

۷-۳-۱- نتایج برای مدل حوضچه

با استفاده از PSO و ICA، بار پذیری، تعداد TCSC ها، مکان بهینه و X_{TCSC}، زمان محاسباتی مطالعه شده و نتایج به دست آمده در جدول ۵ ارائه شده‌اند. بدون TCSC، با استفاده از PSO، بار پذیری ۱/۴۲۱۷۸۳ پریونیت (۶۰۳۱ مگاوات و ۲۰۴۴/۵ مگاوار) به دست می‌آید که زمان محاسباتی ۱۴۹۸/۳۵ ثانیه بوده است در حالی که با استفاده از ICA همان بار پذیری در زمان محاسباتی ۸۱۱/۳۱ ثانیه به دست آمده است. بیشینه‌ی بار پذیری با استفاده از چهار TCSC در خطوط ۱۲۵ (۷۹-۸۰)، ۶۱ (۴۴-۴۵)، ۱۸۱ (۲۷-۱۱۵) و ۶۸ (۴۵-۴۹) به دست آمده است. با چهار TCSC با استفاده از PSO بیشینه‌ی بار پذیری ۱/۴۳۹۱۳۸ پریونیت (۶۱۰۴/۸ مگاوات و ۲۰۶۹/۵ مگاوار) در زمان محاسباتی ۲۳۵۸/۶۹ ثانیه به دست آمده است در حالی که با استفاده از ICA همان بیشینه‌ی بار پذیری در زمان محاسباتی ۱۰۴۳/۲۱ ثانیه حاصل می‌شود. هیچ پیشرفت بیشتری در بار پذیری با افزایش تعداد TCSC ها نخواهیم داشت. با استفاده از ICA، زمان محاسباتی ۱۳۱۵/۴۸ ثانیه کمتر از روش PSO است.

جدول (۶): ماتریس تبادلات دو طرفه پیشنهادی در سیستم IEEE ۱۱۸ باسه

Value of transaction between generator and load bus (p.u.)				
T (1, 1) = 0.51	T (6, 6) = 0.52	T (15, 15) = 0.90	T (18, 18) = 0.60	T (19, 19) = 0.45
T (27, 27) = 0.71	T (32, 32) = 0.59	T (34, 34) = 0.59	T (40, 40) = 0.66	T (49, 49) = 0.87
T (54, 54) = 0.70	T (55, 55) = 0.63	T (56, 56) = 0.84	T (59, 59) = 2.55	T (62, 62) = 0.77
T (70, 70) = 0.66	T (74, 74) = 0.68	T (76, 76) = 0.68	T (77, 77) = 0.61	T (80, 80) = 1.30
T (90, 90) = 1.00	T (92, 92) = 0.65	T (107, 107) = 0.50	T (112, 112) = 0.68	T (116, 116) = 0.50

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۷): ماتریس تبادلات دو طرفه‌ی ایمن در سیستم IEEE ۱۱۸ باسه

Value of transaction between generator and load bus (p.u.)					
T (1, 1) = 0.51	T (1, 54) = 0.02	T (6, 54) = 0.02	T (6, 6) = 0.52	T (15, 15) = 0.90	T (18, 54) = 0.02
T (15, 54) = 0.02	T (18, 18) = 0.60	T (19, 19) = 0.45	T (19, 54) = 0.02	T (27, 27) = 0.71	T (32, 54) = 0.02
T (27, 54) = 0.02	T (32, 32) = 0.59	T (34, 34) = 0.59	T (34, 54) = 0.02	T (40, 40) = 0.66	T (49, 54) = 0.02
T (40, 54) = 0.02	T (49, 49) = 0.87	T (49, 59) = 0.22	T (54, 54) = 0.70	T (55, 54) = 0.02	T (56, 56) = 0.84
T (55, 55) = 0.63	T (56, 54) = 0.02	T (59, 59) = 2.55	T (62, 54) = 0.02	T (62, 62) = 0.77	T (70, 54) = 0.02
T (70, 70) = 0.66	T (74, 54) = 0.02	T (74, 74) = 0.68	T (76, 54) = 0.02	T (76, 76) = 0.68	T (77, 54) = 0.02
T (77, 77) = 0.61	T (80, 116) = 0.78	T (80, 54) = 0.02	T (80, 80) = 1.30	T (80, 90) = 0.63	T (90, 90) = 1.00
T (92, 54) = 0.02	T (92, 92) = 0.65	T (107, 107) = 0.50	T (107, 54) = 0.02	T (112, 112) = 0.68	T (112, 54) = 0.02
T (116, 116) = 0.50					

جدول (۸): بهبود بار پذیری با استفاده از PSO و ICA برای مدل ترکیبی در سیستم IEEE ۱۱۸ باسه

No. of TCSC	method		0	1	2	3	4	5
Loadability (p.u.)	PSO	λ_p	1.823843	1.865944	1.871814	1.877311	1.879149	1.880007
		λ_b	1.015480	1.015480	1.015480	1.015480	1.015480	1.015480
	ICA	λ_p	1.823844	1.865947	1.871814	1.877311	1.879150	1.880007
		λ_b	1.015480	1.015480	1.015480	1.015480	1.015480	1.015480
Location (line number)	PSO	-	-	72	72, 68	72, 68, 62	72, 68, 62, 82	72, 68, 62, 82, 70
	ICA	-	-	72	72, 68	72, 68, 62	72, 68, 62, 82	72, 68, 62, 82, 70
X_{TCSC} (p.u.)	PSO	-	-	-0.030952	-0.030952 -0.033519	-0.030952 -0.033519 -0.071967	-0.030952 -0.033519 -0.071967 -0.019491	-0.030952 -0.033519 -0.071967 -0.019491 -0.052727
	ICA	-	-	-0.030952	-0.030952 -0.033519	-0.030952 -0.033519 -0.071967	-0.030952 -0.033519 -0.071967 -0.019491	-0.030952 -0.033519 -0.071967 -0.019491 -0.052727
Average computation time(s)	PSO	-	1523.33	2142.65	2159.43	2287.89	2389.72	2356.45
	ICA	-	875.91	1098.52	1098.33	1066.42	1011.43	1055.62

جدول (۹): بهبود بار پذیری مدل حوضچه و ترکیبی با TCSC با استفاده از PSO و ICA

Model	Test system	Maximum loadability with PSO & ICA (p.u.)	No. of TCSCs	Average computation time (s)	
				PSO	ICA
Pool	39 Bus New England Test System	1.146483	4	251.65	164.53
	IEEE 118 bus System	1.439139	4	2358.69	1043.21
Hybrid	39 Bus New England Test System	1.284502	2	275.48	175.78
	IEEE 118 bus System	1.879150	4	2389.72	1011.43

۷-۳-۲- نتایج برای مدل ترکیبی

ماتریس تبادل دو طرفه‌ی پیشنهادی در جدول (۶) ارائه شده و ماتریس تبادل دو طرفه‌ی ایمن تعیین گردیده که در جدول (۷) داده شده است.

جدول (۸) بهبود بار پذیری با استفاده از PSO و ICA برای مدل ترکیبی در سیستم IEEE ۱۱۸ باسه را نشان می‌دهد.

جدول (۹) بهبود بار پذیری مدل حوضچه و ترکیبی با TCSC با استفاده از PSO و ICA را نشان می‌دهد.

با استفاده از PSO و ICA ، بار پذیری تبادلات حوضچه

www.SID.ir

Archive of SID

و دو طرفه، تعداد TCSC ها، مکان بهینه و X_{TCSC}، زمان محاسباتی مطالعه شده و نتایج به دست آمده در جدول ۸ ارائه شده‌اند. بدون TCSC، با استفاده از PSO، بار پذیری تبادل حوضچه ۱/۸۲۳۸۴۳ پریونیت (۳۸۶۸/۴ مگاوات و ۱۳۱۱/۳ مگاوار) و بار پذیری تبادل دو طرفه ۱/۰۱۵۴۸ پریونیت (۲۱۵۳/۸۳ مگاوات) به دست می‌آید که زمان محاسباتی ۱۵۲۳/۳۳ ثانیه به دست می‌آید در حالی که با استفاده از ICA همان بار پذیری در زمان محاسباتی ۸۷۵/۹۱ ثانیه به دست آمده است. برای مدل ترکیبی، بار پذیری تبادل حوضچه با استفاده از TCSC افزایش می‌یابد در حالی که بار پذیری تبادل دو طرفه با استفاده از TCSC افزایش نمی‌یابد زیرا آن با استفاده از ماتریس تبادل دو طرفه‌ی ایمن بهینه شده است. بیشینه‌ی بار پذیری با استفاده از چهار TCSC در خطوط ۷۲ (۵۱-۵۲)، ۶۸ (۴۵-۴۹)، ۶۲ (۴۵-۴۶) و ۸۲ (۵۶-۵۸) برای تبادلات حوضچه به تنهایی به دست آمده است. با چهار TCSC با استفاده از PSO بیشینه‌ی بار پذیری ۱/۸۷۹۱۴۹ پریونیت (۳۹۸۵/۷ مگاوات و ۱۳۵۱/۱ مگاوار) در زمان محاسباتی ۲۳۸۹/۷۲ ثانیه به دست آمده است در حالی که با استفاده از ICA همان بیشینه‌ی بار پذیری در زمان محاسباتی ۱۰۱۱/۴۳ ثانیه به دست آمده است. هیچ پیشرفت بیشتری در بار پذیری با افزایش تعداد TCSC ها نخواهیم داشت. با استفاده از ICA، زمان محاسباتی ۱۳۷۸/۲۹ ثانیه کمتر از روش PSO بوده است.

۸- نتیجه‌گیری

در بازار برق مقررات زدایی شده، به دلیل محدودیت‌های مالکیت محیطی، شبکه‌ی انتقال موجود باید برای تقاضای توان در حال افزایش، بهتر به کار بسته شود. ادوات FACTS به منظور بهبود بار پذیری در سیستم انتقال استفاده می‌شوند. در این مطالعه، الگوریتم رقابت استعماری (ICA) با الگوریتم PSO برای بهبود بار پذیری ایمن مدل حوضچه و ترکیبی مقایسه شده است. با توجه به نتایج مذکور، بهبود بار پذیری ایمن با TCSC برای مدل حوضچه و ترکیبی از دیدگاه زمان محاسباتی کمتر با استفاده از ICA بهتر از PSO است. الگوریتم ICA همان نتیجه‌ی دقیق را به صورت سازگار حتی پس از بسیاری آزمایش‌ها تولید می‌کند و در نتیجه یک آزمایش برای رسیدن به نتیجه کافی است، در حالی که الگوریتم PSO باید چندین مرتبه اجرا شود تا به جواب دقیق برسیم، زیرا عملکرد این الگوریتم وابسته به مقداردهی اولیه‌ی تصادفی به ذرات است. برای ICA، پارامترهای اندکی نیاز به تنظیم دارند و تنظیمات یکسان می‌توانند برای مسایل مختلف استفاده شوند، در حالی که به نظر می‌رسد PSO حساس‌تر به تنظیمات پارامترها باشد.

بنابراین الگوریتم ICA موثرتر بوده، به سهولت قابل استفاده است و الگوریتمی مقاوم می‌باشد که دارای زمان محاسباتی کمتر برای بهبود بار پذیری با ادوات FACTS در سیستم انتقال باری مدل حوضچه و ترکیبی در بازار برق مقررات زدایی شده می‌باشد.

مراجع.

[1] Hingorani, N.G., Gyugyi, L., Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems, IEEE Press, New York, 2001.

[2] Galiana, F. D., et al., Assessment and control of the impact of FACTS devices on power system performance, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 4, pp. 1931–1936, 1996.

[3] Shahidepour, M., Alomoush, M., Restructured Electrical Power Systems, Operation, Trading and Volatility, Marcel Dekker, Inc, New York, 2001.

[4] Enrique, A., Claudio, R.F.-E., Hugo, A.P., Cesar, A. C., Modelling and Simulation in Power Networks, John Wiley & Sons, Ltd, New York, 2004.

[5] Singh, J.G., Singh, S.N., Srivastava, S.C., "Placement of FACTS Controllers for Enhancing Power System Loadability", IEEE Power India Conference, 2006.

[6] Rajaraman, R., Alvarado, F., Maniaci, A., Camfield, R., Jalali, S., Determination of location and amount of series compensation to increase power transfer capability, IEEE Transactions on Power Systems,Vol. 13, No. 2, pp. 294–300, 1998.

[7] Lima, F.G.M., Galiana, F.D., Kockar, I., Munoz, J., Phase shifter placement in large scale system via mixed integer linear programming, IEEE Transactions on Power Systems,Vol. 18, No. 3,pp. 1029–1034, 2003.

[8] Galiana, F.D., Ilic, M., A mathematical framework for the analysis and management of power transactions under open access, IEEE Transactions on Power Systems,Vol. 13, No. 2, pp.681–687, 1998.

[9] Cheng, J.W.M., Galiana, F.D., McGills, D.T., Studies of bilateral contracts with respect to steady state security in a deregulated environment, IEEE Transactions on Power Systems,Vol. 13, No. 3,pp. 1020–1025, 1998.

www.SID.ir

Archive of SID

FACTS devices to enhance total transfer capability using evolutionary programming, IEEE International Symposium on Circuits Systems ISCAS,Vol. 5, pp. 4175–4178, 2005.

[18] Saravanan, M., MaryRajaSlochanal, S., Venkatesh, P., Prince Stephen Abraham, J., Application of particle swarm optimization technique for optimal location of FACTS devices considering cost of installation and system loadability, International Journal of Electric Power Systems Research, Vol. 77, pp. 276–283, 2007.

[19] Chang, Y.-C., Chang, R.-F., Hsiao, T.-Y., Lu, C.-N., Transmission system loadability enhancement study by ordinal optimization method, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 99, pp. 1–9, 2010.

[20] Atashpaz-Gargari, E., systemfor, C. L., "Imperialist competitive algorithm:an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition" 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation , pp. 4461-466,2007.

[21] Gan D, Zimmerman R . MATPOWER: a MATLAB power system simulation package. <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/>.

[22] Afzalan, E., Joorabian, M., Analysis of the simultaneous coordinated design of STATCOM-based damping stabilizers and PSS in a multi-machine power system using the seeker optimization algorithm, International Journal of electrical Power and Energy Systems,vol.53,pp:1003-1017,2013.

[23] Power system test archive – UWEE. <http:// www.ee.washington.edu/research/pstca>.

[24] http://motor.ece.iit.edu/Data/JEAS_IEEE118.doc.

[10] Cheng, J.W.M., Galiana, F.D., McGill's, D.T., "The Application of FACTS Controllers to a Deregulated System," AC–DC Power Transmission, Seventh International Conference, pp.10–14, 2001.

[11] Galiana, F.D., Kockar, I., Cuervo, P., Combined pool/bilateral dispatch. Part I. Performance of trading strategies, IEEE Transactions on Power Systems,Vol. 17, No. 1, pp.92–99, 2002.

[12] Ashwani Kumar, S., Optimal number and location of TCSC and loadability enhancement in deregulated electricity markets using MINLP, International Journal of Emerging Electric Power Systems,Vol. 5, No. 1, Article 6, 2006.

[13] Kumar, A., Chanana, S., New secure bilateral transaction determination and study of pattern under contingencies and UPFC in competitive hybrid electricity markets, International Journal on Electrical Power and Energy Systems,pp. 23–33, 2009.

[14] Gerbex, S., Cherkaoui, R., Germond, J., Optimal location of multi-type FACTS devices in power system by means of genetic algorithms, IEEE Transactions on Power Systems,Vol. 16, No. 3, pp. 537–544, 2001.

[15] Cai, L.J., Erlich, I., "Optimal Choice and Allocation of FACTS Devices Using Genetic Algorithms," Proceedings on Intelligent Systems Applications to Power Systems Conference, pp. 1–6, 2003.

[16] Cai, L.J., Erlich, I., Stamtsis, G., "Optimal Choice and Allocation of FACTS Devices in Deregulated Electricity Market Using Genetic Algorithms," IEEE PES: Power System Conference, 2004.

[17] Ongsakul, W., Jirapong, P., Optimal allocation of

1- Flexible AC Transmission System
2 - Thyristor Controlled Series Compensator
3 - Unified Power Flow Controller
4 - Continuation Power Flow
5 - Optimal Power Flow
6 - Mixed Integer Linear Programming
7 - Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer
8 - Mixed Integer Non Linear Programming
9 - Genetic Algorithm
10 - Evolutionary Programming
11 -Particle Swarm Optimization
12 -Ordinal Optimization
13 -Guaranteed Convergence Particle Swarm Optimization
14 - Imperialist Competitve Algorithm
15 -Independent System Operator

www.SID.ir