بهبود ATC در سیستم‌های قدرت توسط تجهیزات TCSC و SVC با استفاده از روش بهینه‌سازی علف‌های هرز مهاجم

علی کوچ پی ده[۱]، محمد تبریزیان*[۲]، حمیدرضا شاهمیرزاد[۳]

۱- کارشناس ارشد برق-قدرت، شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ، تهران، ایران
alikouch1349@yahoo.com
*۲- استادیار گروه برق-قدرت، دانشکده مهندسی برق، واحد یادگار امام خمینی(ره)شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،
mm_tabrizian@yahoo.com
۳- کارشناس ارشد برق قدرت، شرکت بین المللی مهندسی ایران(ایریتک)، تهران، ایران
hr.shahmirzad@gmail.com
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲

چکیده: خطوط انتقال انرژی الکتریکی در حالت بی‌باری دارای مشکلاتی نظیر افزایش ولتاژ در انتهای خط و کاهش پایداری و در حالت بارداری مشکلاتی مانند افت ولتاژ و کاهش ظرفیت قابل انتقال و در مواردی مشکل ناپایداری ولتاژ، نوسانات توان و ناپایداری گذرا در اثر اختلالات را در بردارد که این مشکلات با افزایش طول خطوط انتقال شدت می‌یابد. جهت حل این مشکلات باید ولتاژ و توان‌های اکتیو و راکتیو بصورت لحظه‌ای کنترل گردند. جهت کاهش تلفات خطوط و افزایش ظرفیت انتقال انرژی و همچنین بهبود قابلیت اطمینان و حفظ پایداری ولتاژ، امروزه استفاده از تجهیزات ادوات فکت (FACTS) در سطح دنیا در حال گسترش بوده و جهت چشم‌انداز آینده شبکه سراسری برق ایران نیز قابل مطالعه و پیشنهاد است. در این مقاله مدل کامل‌تری مبتنی بر وزن‌دهی و رتبه-بندی حالت‌های وقوع پیشامدهای احتمالی مختلف به‌طور همزمان و مکان‌یابی بهینه دو نمونه از این ادوات شامل جبران‌سازی سری کنترل شده با تریستور(TCSC) و جبران‌ساز توان راکتیو استاتیک(SVC) جهت بهبود قابلیت انتقال موجود (ATC)، درشبکه قدرت ۱۴-باسه با روش بهینه‌سازی علف‌های هرز مهاجم (IWO) پیشنهاد و سپس نتایج آن با سایر روش‌های بهینه‌سازی مقایسه و ارزیابی شده است.

واژه‌های کلیدی: ادوات انعطاف‌پذیر انتقال توان(FACTS)، قابلیت انتقال موجود(ATC)، جبران‌ساز سری کنترل‌شده با تریستور(TCSC)، جبران ساز توان راکتیو استاتیکی(SVC)، روش بهینه‌سازی علف‌های هرزمهاجم(IWO)

۱- مقدمه

ادوات FACTS در ابتدا در سال ۱۹۹۰ میلادی توسعه یافتند. مطابق تعاریف و استاندارد IEEE، ادوات FACTS، ادوات الکترونیک قدرت و سایر کنترل کننده‌های استاتیکی هستند که کنترل‌پذیری را بهبود می‌بخشند و قابلیت انتقال توان را افزایش می‌دهند. قابلیت انتقال مقدار توانی است که با حفظ محدودیت‌های شبکه، خطوط و تجهیزات موجود در شبکه از یک ناحیه به ناحیه دیگر منتقل می‌شود. در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته، که عدم تطبیق تغذیه-تقاضای توان الکتریکی در دسترس، بطور پیوسته در حال افزایش است، اغلب باعث قطع برق اجباری بر روی مصرف‌کنندگان می‌گردد. این موقعیت، به این دلیل به‌وجود می‌آید که نرخ افزایش تقاضا، بسیار بیشتر از نرخ افزایش تأمین و تغذیه است. بهره‌بردار سیستم با رویکرد توان تغذیه، مایل به دانستن در مورد ظرفیت تمام حالت‌های سیستم است[۱]. این ظرفیت به اصطلاح ظرفیت انتقال موجود (ATC) نامیده می‌شود. SVC و TCSC مشهورترین ادوات FACTS برای جبران‌سازی مؤثر موازی و سری به منظور بهبود ATC می‌باشند[۲].

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023

به منظور حداکثر کردن منافع ناشی از نصب ادوات FACTS، انتخاب مکان‌های بهینه برای نصب این ادوات، ضروریست[۳]. نوع، محل و اندازه ادوات FACTS به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر روی مشخصه‌های سیستم‌های انتقال تأثیر می‌گذارند. بنابراین، به منظور رسیدن به یک هدف مشخص، مناسب‌ترین نوع ادوات FACTS با بهترین اندازه باید در بهترین مکان، نصب شوند[۴]. به بیان دیگر، مقدار اضافی توانی است که می‌تواند در سراسر شبکه با حدهایی برای محدوده عدم قطعیت‌ها و وقایع احتمالی انتقال یابد، در زمانی که توان در باس‌های بخصوصی تزریق یا استخراج شود[۵]. قابلیت انتقال کل به مقدار توان الکتریکی گفته می‌شود که می‌تواند در یک مسیر خاص یا بین دو ناحیه با قابلیت اطمینان بالا و بنا به شرایط عبور کند[۶].

تکنیک PSO ترکیبی (HPSO) برای بهینه‌سازی پارامترهای ادوات TCSC و SVC جهت کاهش هزینه تولید و تلفات انتقال و افزایش ظرفیت تولید و قابلیت انتقال توان در یک سیستم قدرت در[۷]، استفاده شده است. پارامترهای محل و نوع در نظر گرفته شده‌اند. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که تکنیک ترکیبی عملکرد بهتری نسبت به بهینه‌سازی ادوات FACTS با استفاده از پخش بار بهینه (OPF) جهت کاهش تلفات انتقال و افزایش ظرفیت توان انتقالی در یک سیستم توزیع را دارد. سایر روش‌های مبتنی بر PSO، مثل PSO رهبر بهبود یافته (ELPSO) [۸]، PSO آشفته[۹] و PSO تکاملی[۱۰]، بدین منظور استفاده شده‌اند. در[۱۱]، الگوریتم رقابت استعماری (ICA) برای بهینه‌سازی محل کنترلر پخش بار یکپارچه (UPFC) برای بهبود پایداری ولتاژ، پیشنهاد شده است. [۱۲] از تکنیک PSO چند هدفه (MPSO) برای بهینه‌سازی محل UPFC برای افزایش پایداری ولتاژ و [۱۳] از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی محل SVC، UPFC و TCSC برای بهبود بارگذاری و کمینه‌سازی تلفات انتقال، استفاده کرده است. در[۱۴] یک کار تحقیقاتی با ارتقای ATC با معرفی یک الگوریتم جدید بهینه‌سازی ازدحام ذرات خودسازگار (SAPSO) است که بهبود مفهومی استاندارد بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) است. در[۱۵]، مسئله تعیین مکان بهینه و پارامتر یک دستگاه TCSC برای به حداکثر رساندن ATC در صورت لغو یکی از دو معاملات همزمان اعلام شده در نظر گرفته شده است. مسئله تعریف شده در قالب دو تابع معیار به دلیل یک الگوریتم تکاملی NSGA-II حل شده است، در حالی که مقدار مورد انتظار ATC برای معاملات در نظر گرفته شده با توجه به جریان‌های توان DC محاسبه شده است. از آنجایی که مسئله در سطح برنامه‌ریزی حل شده است، عدم قطعیت در مورد ژنراتورها، خطوط انتقال، و تغییرات بار توان فعال با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو ارزیابی شده است. نتایج به‌دست‌آمده در شبکه IEEE۲۴ rts نشان داده است که وقتی از دستگاه TCSC در مورد لغو یکی از دو تراکنش همزمان اعلام‌شده استفاده می‌شود، مقدار ATC برای هر دو تراکنش افزایش می‌یابد، برخلاف حالتی که از TCSC استفاده نمی‌شود. در [۱۶] ابتدا از آنالیز حساسیت استفاده نموده است که در آن تغییرات پخش بار شاخه‌های مختلف با توجه به زاویه فاز آن‌ها به‌عنوان یک شاخص عملکرد، محاسبه شده‌اند. سپس الگوریتم ژنتیک برای یافتن محل بهینه TCPST استفاده شده است. امروزه، بازار برق در حال تبدیل شدن از یک بازار انحصاری به یک بازار مقررات‌زدایی شده است. در این فرآیند، ابزارهای برق به بسیاری از تولیدکنندگان برق مستقل اجازه می‌دهد تا در سراسر سیستم متصل شوند. تولیدکنندگان برق و مراکز بار باید یک پیوند انتقال مشترک برای تطبیق تراکنش‌های برق از نقطه مرکز تولید به مراکز بار را به اشتراک بگذارند. افزایش تقاضای برق باعث می‌شود خط انتقال از محدوده خود خارج شود. محاسبه ATC برای امنیت سیستم، برای کارکرد مطمئن‌تر این نوع سیستم و همچنین جلوگیری از خاموشی بسیار مهم است. در مرجع [۱۷] ایده‌ای در مورد تقویت ATC با استفاده از دستگاه‌های FACTS برای این موضوع ارائه می‌دهد. در[۱۸] یکی از دستگاه‌های FACTS TCSC (خازن سری کنترل شده با تریستور) در تکنیک جریان بار معمولی NR گنجانده شده است و ولتاژها و جریان-های خط با و بدون TCSC مقایسه می‌شوند. هدف از الگوریتم تقویت ATC با دستگاه های FACTS بهبود حد بارگذاری و به حداقل رساندن شاخص انحراف ولتاژ است به‌طوری که مجموعه‌ای از محدودیت‌های عملیاتی سیستم انتقال، سیستم تولید و متغیرهای کنترل دستگاه‌های FACTS برآورده می‌شود. اگرچه روش‌های ابتکاری و فراابتکاری عملکرد و سرعت بهتری نسبت به روش‌های کلاسیک دارند، اما ممکن است به جای نقطه بهینه فراگیر به سمت نقطه بهینه محلی همگرا شوند. این موضوع به همگرایی زودرس اشاره دارد[۱۹]. در[۲۰] تأثیر ابزارهای رتبه‌بندی خطوط دینامیکی (DLR) که عموماً برای افزایش ظرفیت خطوط انتقال استفاده می‌شوند، برروی ATC بررسی شده است. علاوه بر این، یک مدل ارزیابی ATC قوی برای یافتن بدترین موارد برای تعیین اصطلاحات حاشیه‌ای و در نظر گرفتن آنها در ارزیابی ATC پیشنهاد شده است. مدل ارزیابی ATC قوی شامل یک مسئله اصلی است که برای تعیین ATC و قابلیت انتقال کل، و همچنین دو مسئله فرعی دوسطحی فرموله شده است که برای یافتن شرایط حاشیه‌ای قابلیت اطمینان فرموله شده است. الگوریتم تجزیه Benders برای حل ارزیابی ATC پیشنهادشده است.

به‌کارگیری ادوات FACTS شامل SVC و TCSC در سیستم ۱۴ و ۲۴ باس IEEE با روش پخش بار CPF و روش حل مسأله بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک کد حقیقی (RGA) در[۲۱] انجام شده است.

۲- مدل‌سازی و فرمول‌بندی روش پیشنهادی

۲-۱- قابلیت انتقال موجود و روش‌های محاسباتی آن

یکی از اصلی‌ترین اهداف در مسائل مکان‌یابی ادوات FACTS، بهبود ظرفیت انتقال موجود است. مطابق تعریف انجمن قابلیت اطمینان الکتریکی آمریکای شمالی (NERC)، ATC اختلاف بین قابلیت انتقال کل (TTC) و مجموع مشارکت‌های انتقال موجود (ETC)، حد قابلیت

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023

اطمینان انتقال (TRM) و حد منافع ظرفیت (CBM) می‌باشد. مشارکت انتقال موجود (ETC) با استفاده از محاسبات پخش بار محاسبه می‌شود. حد قابلیت اطمینان انتقال (TRM) بعنوان یک درصد ثابت یعنی ۱۰٪ از TTC، رفتار می‌کند. حد منافع ظرفیت (CBM) می‌تواند بر اساس مقدار بازار بین قراردادهای انرژی باشد. به منظور سهولت، CBM صفر فرض می‌شود. بر اساس فرضیات فوق، ATC می‌تواند بصورت زیر تخمین زده شود[۲]:

$$ATC = TTC - ETC - TRM - CBM = (1-k)TTC - ETC \quad (۱)$$

که k درصد از پیش تعیین شده TTC محاسبه شده است.

سه روش کاربردی و مشهور شامل روش پخش بار تکرار شده (RPF)، پخش بار پیوسته (CPF) ، پخش بار بهینه مقید به امنیت (SCOPF) برای محاسبه TTC، وجود دارند. هر دو روش CPF و RPF، انتقال با افزایش بار مختلط با ضریب توان یکنواخت در هر باس بار در ناحیه دریافت‌کننده و افزایش توان حقیقی تزریق‌شده در باس‌های ژنراتور در ناحیه منبع با گام‌های افزایشی را محقق می‌سازند تا زمانیکه حدها نقض شوند. RPF به‌طور تکرار شونده، معادلات پخش بار متداول را در یک توالی نقاط همراه جهت‌های مشخص شده انتقال، حل می‌کند درحالی‌که، CPF مجموعه‌ای از معادلات پخش بار تکمیل شده را برای دستیابی به منحنی راه‌حل با عبور از نقطه دماغه منحنی بدون مواجهه با مشکل عددی شایسته‌سازی ناگوار، حل می‌کند. روش‌های SCOPF، قابلیت انتقال بین دو ناحیه کنترلی را بیشینه می‌کند، با فرض اینکه تمام پارامترهای بهینه‌شده OPF بتوانند به‌طور مرکزی دیسپچ شوند. فرمول‌بندی ریاضیSCOPF برای ساختار غیر متمرکز به‌صورت زیر ارائه می‌شود[۲۲]:

$$Maximize \left(\sum_{i \in Sink} P_{D_i} - \sum_{i \in Sink} P_{D_i}^0 \right) \quad (۲)$$

مشروط به:

$$P_{Gi} - P_{Di} = \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j|\left(G_{ij}\cos\delta_{ij} + B_{ij}\sin\delta_{ij}\right) \quad (۳)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} = \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j|\left(G_{ij}\sin\delta_{ij} - B_{ij}\cos\delta_{ij}\right) \quad (۴)$$

$$P_{Gi}^0 \le P_{Gi} \ . \ i \in Source \quad (۵)$$

$$P_{Di}^0 \le P_{Di} \ . \ i \in Sink \quad (۶)$$

$$Q_{Di}^0 \le Q_{Di} \ . \ i \in Sink \quad (۷)$$

$$\frac{P_{Di}}{P_{Gi}^0} = \frac{Q_{Di}}{Q_{Di}^0} \ . \ i \in Sink \quad (۸)$$

$$|V_i|_{min} \le |V_i| \le |V_i|_{max} \quad (۹)$$

$$S_{ij} \le S_{ij_{max}} \quad (۱۰)$$

خروجی توان حقیقی ژنراتورها در ناحیه منبع و بار اکتیو و راکتیو در ناحیه دریافت‌کننده می‌تواند به منظور رسیدن به ظرفیت انتقال حداکثر، تنظیم شود و بار مختلط با ضریب توان ثابت تنظیم گردد. در این مقاله از این مدل فرمول‌بندی پخش بار بهینه جهت محاسبه ATC، استفاده شده است.

۲-۲- مدل‌سازی ادوات FACTS

مطابق تعاریف و استانداردهای IEEE، یک جبران‌ساز راکتانس خازنی که شامل بانک خازنی سری موازی شده با یک سلف کنترل شده با تایریستور می‌باشد (یعنی TCSC)، به منظور فراهم نمودن تغییرات آهسته راکتانس خازنی سری مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین یک ژنراتور یا جذب‌کننده توان راکتیو استاتیکی متصل شده بصورت موازی (یعنی SVC)، به گونه‌ای تنظیم می‌شود که جریان خازنی یا سلفی را تبادل کند بطوری که پارامترهای بخصوصی از سیستم قدرت الکتریکی (مثلاً ولتاژ باس) حفظ یا کنترل شوند. این نوع از ادوات FACTS می‌تواند شامل یک سلف کنترل شده با تایریستور (TCR)، یک خازن کنترل شده با تایرسیتور (TSC)، یک خازن ثابت (FC) و یک مقاومت سوییچ شونده باشد. با جبران‌سازی موازی مناسب توان راکتیو، توان قابل انتقال در حالت ماندگار افزایش خواهد یافت و پروفیل ولتاژ در طول خط کنترل خواهد شد. تزریق‌های توان اکتیو و راکتیو ناشی از خازن سری در TCSC در باس i و j بصورت معادلات زیر داده شده‌اند[۲۳]:

$$P_i^F = V_i^2 \Delta G_{ij} - V_i V_j\left[\Delta G_{ij}\cos(\delta_i - \delta_j) + \Delta B_{ij}\sin(\delta_i - \delta_j)\right] \quad (۱۱)$$

$$Q_i^F = -V_i^2 \Delta B_{ij} - V_i V_j\left[\Delta G_{ij}\sin(\delta_i - \delta_j) + \Delta B_{ij}\cos(\delta_i - \delta_j)\right] \quad (۱۲)$$

$$P_j^F = V_j^2 \Delta G_{ij} - V_i V_j\left[\Delta G_{ij}\cos(\delta_i - \delta_j) + \Delta B_{ij}\sin(\delta_i - \delta_j)\right] \quad (۱۳)$$

$$Q_j^F = -V_j^2 \Delta B_{ij} - V_i V_j\left[\Delta G_{ij}\sin(\delta_i - \delta_j) + \Delta B_{ij}\cos(\delta_i - \delta_j)\right] \quad (۱۴)$$

که V_i و V_j بترتیب دامنه ولتاژ باس‌های i و j، و δ_i و δ_j بترتیب زاویه فازی آن‌ها می‌باشند. کندوکتانس و سوسپتانس خط بین باس‌های i و j پس از اضافه شدن TCSC از طریق (۱۵) و (۱۶) بدست می‌آیند:

$$\Delta G_{ij} = \frac{x_c r_{ij}\left(x_c - 2x_{ij}\right)}{\left(r_{ij}^2 + x_{ij}^2\right)\left[r_{ij}^2 + \left(x_{ij} - x_c\right)^2\right]} \quad (۱۵)$$

$$\Delta B_{ij} = -\frac{x_c\left(r_{ij}^2 - x_{ij}^2 + x_c x_{ij}\right)}{\left(r_{ij}^2 + x_{ij}^2\right)\left[r_{ij}^2 + \left(x_{ij} - x_c\right)^2\right]} \quad (۱۶)$$

که r_{ij} و x_{ij} بترتیب مقاومت و راکتانس خط بین باس‌های i و j و x_c راکتانس TCSC می‌باشند.

مدل‌سازی SVC بصورت یک منبع توان راکتیو متغیر در نظر گرفته می‌شود؛ بدین صورت که حد بر روی خروجی توان راکتیو اعمال می‌گردد. این حد بصورت زیر می‌باشد:

$$Q_{SVC} = B_{SVC} V_i^2 \quad (۱۷)$$

که B_{SVC} سوسپتانس القایی یا خازنی SVC می‌باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023

۳-۲- فرمول‌بندی مساله مکان‌یابی ادوات FACTS

فرمول‌بندی مسأله محاسبه ATC، مفهومی اساسی از OPF بعنوان یک مسأله بهینه‌سازی با قیود تساوی و نامساوی است. حدهای پایداری نیز بعنوان قیود اصلی در نظر گرفته می‌شوند. مشخصاً، تابع هدف، پخش بار حداکثر بر روی مسیر مشخص شده انتقال است. هدف، تعیین ATC برای بیشینه‌سازی انتقال توان بین دو ناحیه مشروط به شرایطی است که هیچ نقض حدهای حرارتی یا ولتاژ یا پایداری وجود نداشته باشند[۱]. فرمول‌بندی مسأله قابلیت انتقال موجود در [۱] بصورت زیر ارائه گردیده است:

تابع هدف می‌تواند بطور مستقیم بیشینه کردن ATC میان دو ناحیه ارسال و دریافت باشد:

$$Maximize\ ATC \qquad (۱۸)$$

مشروط به:

- قید TCSC :

$$X_{TCSCi}^{min} \le X_{TCSCi} \le X_{TCSCi}^{max}\ ,\ i = 1.2.\ldots.n_{TCSC} \qquad (۱۹)$$

- قید SVC :

$$B_{SVCi}^{min} \le B_{SVCi} \le B_{SVCi}^{max}\ ,\ i = 1.2.\ldots.n_{SVC} \qquad (۲۰)$$

که P_i توان باس i، P_{kj} فلوهای خطوط مختلف وارد شده به باس j، Y_{ij} و θ_{ij} بترتیب دامنه و فاز ادمیتانس خط بین باس‌های i و j، P_g و P_g^{min} و P_g^{max} بتریتب توان اکتیو تولیدی و حدهای پائین و بالای آن، Q_g و Q_g^{min} و Q_g^{max} بترتیب توان راکتیو تولیدی و حدهای پائین و بالای آن، S_{ij} و S_{ij}^{max} بترتیب فلوی خط بین i و j و حد بالای آن، V_i و V_i^{min} و V_i^{max} بترتیب ولتاژ باس i و حدهای پائین و بالای آن، X_{TCSCi} و X_{TCSCi}^{min} و X_{TCSCi}^{max} بترتیب راکتانس TCSC و حدهای پائین و بالای آن، B_{SVCi} و B_{SVCi}^{min} و B_{SVCi}^{max} سوسپتانس SVC و حدهای پائین و بالای آن، و n_{TCSC} و n_{SVC} بترتیب تعداد حداکثر TCSC و SVC های در نظر گرفته شده، می‌باشند.

یک وقفه در سیستم قدرت موجب تغییراتی در فلوهای خط و ولتاژهای باس می‌شود. فلوهای جدید خط و ولتاژهای باس می‌توانند با تحلیلی که تحلیل وقوع احتمالی نامیده می‌شود، پیش‌بینی گردد که یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین تحلیل برای ارزیابی امنیت سیستم می‌باشد. خطوط بحرانی یا وقایع احتمالی معتبر با تحلیل وقوع احتمالی تعیین می‌گردند و تنها این خطوط بحرانی نیاز است تا برای ارزیابی امنیت سیستم در نظر گرفته شوند. پارامتری که بعنوان شاخص عملکرد شناخته می‌شود، برای تحلیل امنیت استفاده می‌گردد. خطی که بالاترین مقدار را دارد بحرانی‌ترین خط می‌باشد و بعنوان حالت ۱، رتبه‌بندی می‌گردد. فرآیند انتخاب خط بحرانی بعنوان رتبه‌بندی وقوع احتمالی مشهور است[۱].

برای تحلیل وقوع احتمالی، اهمیت خط بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$PI = \left(\frac{S_l}{S_l^{max}}\right)^{2m} \qquad (۲۱)$$

که PI شاخص عملکرد، S_l و S_l^{max} بترتیب فلوی توان ظاهری در خط l و مقدار نامی آن و m نمای عدد صحیح است.

۳- شبیه‌سازی و تحلیل نتایج

در این بخش نتایج حاصل از اجرای شبیه‌سازی در نرم افزار متلب مسأله مکان‌یابی ادوات FACTS در نظر گرفته شده یعنی SVC و TCSC، با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مختلف ارائه می‌گردد. برای ارزیابی مسائل امنیت سیستم، حالت‌های مختلف وقایع احتمالی برای خطوط مختلف در نظر گرفته می‌شود. سیستم‌های آزمایشی IEEE برای پیاده‌سازی ایده‌ها و مسائل مختلف محققین، مورد استفاده قرار می‌گیرند. جهت ارزیابی روش پیشنهادی، دو سیستم مورد مطالعه، سیستم ۱۴ باس IEEE و سیستم ۲۴ باس IEEE، در نظر گرفته شده‌اند. محدودیت دامنه ولتاژ باس‌ها بین ۰,۹۵ و ۱,۱۵ پریونیت می‌باشد. همچنین تعداد حداکثر ادوات FACTS برای هر نوع، ۳ در نظر گرفته شده است. حد بالا و پائین برای سوسپتانس SVC های نصب شده بترتیب ۵ و ۲- پریونیت و برای راکتانس TCSC ها بترتیب ۶۰٪ راکتانس خط مربوطه و صفر پریونیت در نظر گرفته شده‌اند. مطالعه موردی در سیستم ۱۴ باسه IEEE که این سیستم به دو ناحیه تقسیم می‌شود، یکی با ولتاژ ۶۹ کیلوولت و دیگری با ولتاژ ۱۳,۸ کیلوولت هستند. سیستم دارای ۱۴ باس، ۲۰ خط، ۴ ترانسفورماتور، ۵ ژنراتور، ۱۱ بار، و توان نامی ۱۰۰ مگاولت آمپر است. ژنراتورها بر روی باس‌های ۱، ۲، ۳، ۶ و ۸ قرار گرفته‌اند. مطابق رابطه (۲۱)، شاخص عملکرد برای سیستم ۱۴ باس بصورت شکل(۱)، بدست می‌آید. از شکل می‌توان مشاهده نمود که خط ۱۴ دارای بیشترین مقدار شاخص عملکرد است؛ یعنی بیشترین رتبه را در میان خطوط دارد. همچنین کمترین میزان شاخص عملکرد برای خط ۹ بدست آمده است که دارای کمترین رتبه در تحلیل وقایع احتمالی خواهد بود. بر اساس این رتبه‌ها می‌توان وقایع احتمالی را ارزیابی نمود. در این مقاله برای سیستم ۱۴ باس، باس ۱ بعنوان ناحیه ارسال و باس‌های ۳، ۴، ۹ و ۱۴ بعنوان ناحیه دریافت در نظر گرفته شده‌اند.

حالت‌های مختلف بر اساس شاخص عملکرد در جدول(۱)، برای سیستم ۱۴ باس IEEE، آورده شده‌اند. شکل(۲)، همگرایی روش‌های مختلف بهینه‌سازی جهت حل مسأله مکان‌یابی ادوات FACTS برای سیستم ۱۴ باس IEEE را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که مقادیر اولیه برای تمامی الگوریتم‌ها یکسان در نظر گرفته شده‌اند. واضح است که مقدار تابع هدف در اولین تکرار برای الگوریتم PSO بهتر و برای الگوریتم GA بدتر از سایر روش‌ها می‌باشد. در الگوریتم PSO مقدار تابع هدف پس از ۵ تکرار به مقدار بهینه محلی ۱۷۰۹ همگرا می‌شود اما در ادامه نمی‌تواند به مقدار بهینه فراگیر برسد؛ در حالیکه روش GA پس از ۵۲ تکرار به ۱۷۱۱ می‌رسد. روش CSO عملکرد مناسب‌تری دارد؛ به گونه‌ای که پس از ۲۸ تکرار به مقدار بهینه محلی ۱۷۱۱می‌رسد اما از رسیدن به مقدار بهینه فراگیر ناکام است. روش IWO در تکرار هشتم می‌تواند به مقدار

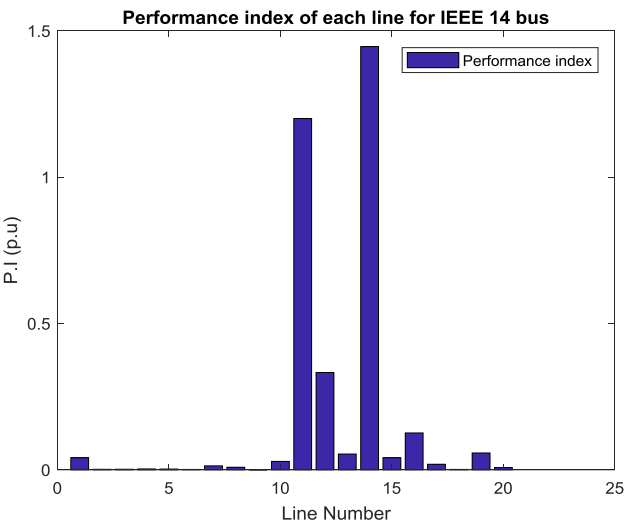
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023

بهینه فراگیر ۱۷۱۳ همگرا شود که این امر نشان دهنده عملکرد بهتر این الگوریتم نسبت به سایر روش‌هاست. تمامی روش‌ها در نهایت به مقدار بهینه فراگیر یا مقدار بهینه محلی نزدیک به آن، همگرا می‌شوند. اما در همه حالت‌های در نظر گرفته شده روش IWO، عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها داشته است. جدول‌های(۲) و (۴)، مقدار و محل TCSC و SVC های نصب شده پس از حل مسأله مکان‌یابی ادوات FACTS توسط روش‌های مختلف بهینه‌سازی برای حالت‌های مختلف در نظر گرفته شده را خلاصه می‌کنند. با مشاهده جدول‌های(۲) و (۴)، می‌توان دریافت که روش IWO در تمامی حالت‌ها بجز حالت خروج ۳ خط (حالت ۸)، توانسته است با کمترین تعداد TCSC بیشترین میزان ATC را بدست آورده که این امر می‌تواند به کاهش هزینه‌های نصب ادوات FACTS کمک کند. همچنین در حالت ۱، با استفاده از این روش بر خلاف سایر روش‌ها، دو SVC برای بدست آوردن بیشترین میزان ATC کفایت کرده است. در حالی‌که با انتخاب نامناسب مقدار و یا محل نصب ادوات FACTS، توسط سایر الگوریتم‌ها میزان ATC کمتری بدست آمده است. نکته قابل توجه این است که با استفاده از تمامی روش‌ها و در تمامی حالت‌ها، باس ۱ بعنوان گزینه ثابت برای نصب SVC تعیین شده است.

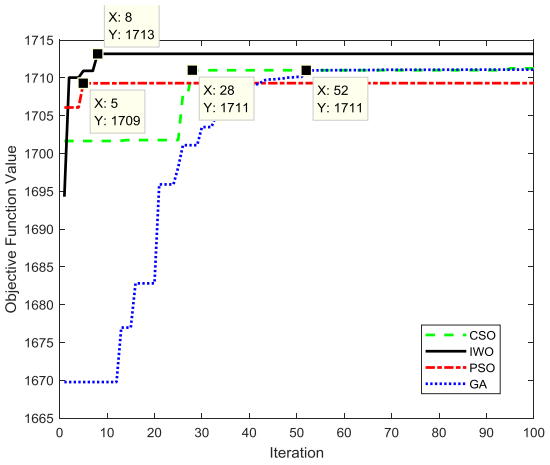
در متون، مکان‌یابی برای حالت‌های در نظر گرفته شده، بطور جداگانه انجام شده است و برای هر حالت نتایج متفاوتی بدست آمده است. اگرچه این فرضیات برای ارزیابی عملکرد روش‌های بهینه‌سازی و اثر ادوات FACTS ارزشمند هستند اما نمی‌توانند در عمل کاربردی داشته باشند. در این مقاله برای اینکه مکان بهینه ادوات FACTS در تمامی حالت‌های در نظر گرفته شده بطور یکسان تعیین شود، تابع هدف زیر پیشنهاد می‌گردد:

$$Maximize\ ATC_T = \sum_{c=-1}^{8} W_c . ATC_c \qquad (۲۵)$$

مشروط به: (۱۹) و (۲۰).



شکل(۱): شاخص عملکرد خطوط سیستم ۱۴ باس IEEE



شکل(۲): نمودار همگرایی روش‌های مختلف بهینه‌سازی در سیستم ۱۴ باس IEEE برای حالت مبنا

جدول(۱): حالت‌های در نظر گرفته شده برای ارزیابی سیستم ۱۴ باس IEEE

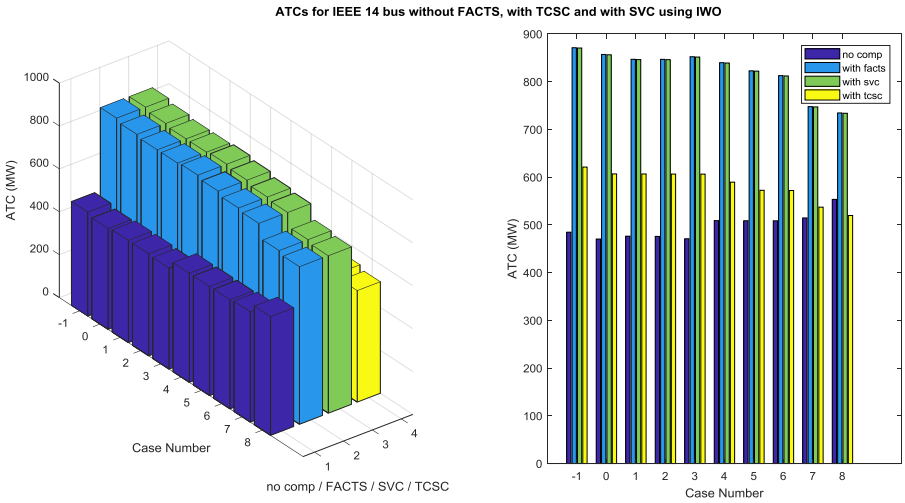
شماره حالت	توضیحات
-۱	افزایش تولید به میزان ۱،۵٪ و تقاضا به میزان ۲٪ در باس ۲
۰	حالت مبنا
۱	وقفه در خط ۱۴ با رتبه ۱
۲	وقفه در خط ۱۱ با رتبه ۲
۳	وقفه در خط ۱۲ با رتبه ۳
۴	وقفه در خط ۱۶ با رتبه ۴
۵	وقفه در خط ۱۹ با رتبه ۵
۶	وقفه در خط ۱۳ با رتبه ۶
۷	وقفه در خطوط ۱۴ و ۱۳ بترتیب با رتبه ۱ و ۶
۸	وقفه در خطوط ۱۱، ۱۶ و ۱۳ بترتیب با رتبه ۲، ۴ و ۶

که ATC_c قابلیت انتقال موجود برای حالت c و W_c وزن مربوط به آن هستند و ATC_T مجموع قابلیت انتقال موجود برای کل حالت‌های در نظر گرفته شده می‌باشد. در واقع با در نظر گرفتن این حالت، بهترین مکان ادوات FACTS بطور منحصر به فرد با انجام مصالحه‌ای برای تمامی حالت‌های در نظر گرفته شده تعیین می‌شود. در اینجا وزن‌ها بصورت زیر در نظر گرفته شده‌اند:

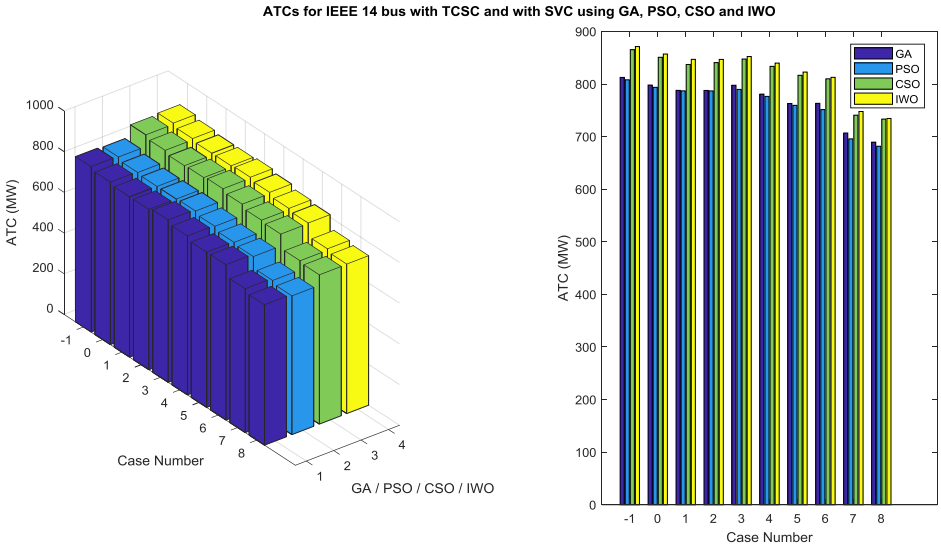
$$W_C = [0.1\ \ 1\ \ 0.9\ \ 0.8\ \ 0.7\ \ 0.6\ \ 0.5\ \ 0.4\ \ 0.3\ \ 0.2]^T \qquad (۲۶)$$

از آنجایی‌که حالت ۱- یعنی حالتی که به تقاضا و تولید در باس ۲ اضافه می شود، اهمیت چندانی در مسأله ندارد، کمترین میزان وزن برای آن در نظر گرفته شده است. همچنین درعمل احتمال وقوع حالت‌های خروج دو یا سه خط، بسیار کمتر از احتمال وقوع حالت‌های خروج خط ها بصورت تکی می‌باشد. به همین جهت وزن حالت ۰ نسبت به سایر حالت‌ها بیشتر بوده و برای حالت‌های بعدی کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که در این حالت λ های مربوط به مسأله پخش بار نیز باید برای تابع هدف جدید بدست آیند زیرا در صورت استفاده از نتایج پخش بار برای یک حالت خاص ممکن است در حالت جدید، قیود پخش بار نقض شوند. با این کار می‌توان اطمینان حاصل نمود که مکان بهینه بدست آمده می‌تواند با تنها یک بار اجرای شبیه‌سازی برای تمامی حالت‌ها مورد استفاده قرار بگیرد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]



شکل(۳): نمودارهای میله‌ای دو بعدی و سه بعدی مقادیر ATC انتقال یافته از ناحیه ارسال به ناحیه دریافت با تعیین مکان بهینه ادوات FACTS بطور یکسان برای حالت‌های مختلف در نظر گرفته شده برای سیستم ۱۴ باس IEEE بدون جبران‌سازی و با ادوات FACTS توسط روشIWO



شکل(۴): نمودارهای میله‌ای سه بعدی مقادیر ATC انتقال یافته از ناحیه ارسال به ناحیه دریافت با تعیین مکان بهینه ادوات FACTS بطور یکسان برای حالت‌های مختلف در نظر گرفته شده برای سیستم ۱۴ باس IEEE با ادوات FACTS توسط روش‌های مختلف بهینه سازی

جدول(۲): اندازه و محل ادوات FACTS نصب شده توسط روش های بهینه سازی مختلف بطور یکسان برای سیستم ۱۴ باس IEEE

ادوات FACTS		روش بهینه سازی							
		GA		PSO		CSO		IWO	
		اندازه	مکان	اندازه	مکان	اندازه	مکان	اندازه	مکان
TCSC		۰,۱۲۵۷	(۴-۷)	۰,۰۵۵۷	(۱-۵)	۰,۰۶۹۳	(۲-۵)	۰,۱۰۴۳	(۲-۵)
		۰,۳۳۳۷	(۴-۹)	۰,۰۲۴۳	(۲-۵)	۱	(۴-۹)		
		۰,۰۵۰۷	(۹-۱۰)	۰,۰۴۳۰	(۹-۱۰)	۱	(۹-۱۴)		
SVC		۵	۱	۳,۲۹۶۸	۱	۴,۹۶۹۲	۱	۵	۱
		-۲	۶	۴,۱۱۷۶	۳	۳,۴۵۱۶	۳	۵	۳
		۵	۷	۱,۸۶۶۶	۸	-۳,۸۶۸۰	۵	-۰,۱۶۶۵	۱۴

*مقادیر بر حسب یکائی (پریونیت) هستند. اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطوطی هستند که TCSC در آن ها نصب شده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023

جدول۲ مقدار و محل TCSC و SVC های نصب شده پس از حل مسأله مکان‌یابی ادوات FACTS توسط روش‌های مختلف بهینه‌سازی بطور یکسان برای حالت‌های مختلف در نظر گرفته شده را خلاصه می‌کنند. با مشاهده جدول۲ می‌توان دریافت که روش IWO توانسته است با کمترین تعداد TCSC بیشترین میزان ATC را بدست آورد که این امر می‌تواند به کاهش هزینه‌های نصب ادوات FACTS کمک کند. در حالی‌که با انتخاب نامناسب مقدار و یا محل نصب ادوات FACTS، توسط سایر الگوریتم‌ها میزان ATC کمتری بدست آمده است. نکته قابل توجه این است که با استفاده از تمامی روش‌ها، باس شماره ۱ بعنوان گزینه ثابت برای نصب SVC تعیین شده است.

۴- نتیجه‌گیری

ادوات FACTS یک زیرساخت جایگزین برای روش‌های تقویت متداول شبکه‌های برق از طریق انعطاف‌پذیری بالاتر، هزینه پائین‌تر و اثرات زیست محیطی کمتر ارائه می‌کنند. SVC و TCSC مشهورترین ادوات FACTS برای جبران‌سازی مؤثر موازی و سری به منظور بهبود ATC می‌باشند. جهت بیشینه‌سازی بهره‌وری از شبکه‌های انتقال موجود، ارزیابی دقیق ATC در حین حفظ امنیت سیستم ضروریست. مسأله یافتن نوع، محل و اندازه ادوات FACTS، مسأله مکان‌یابی FACTS نامیده می‌شود. مسأله مکان‌یابی بهینه ادوات FACTS، یک مسأله بهینه‌سازی دشوار محسوب می‌شود. روش‌های فراابتکاری، روش‌های بسیار انعطاف‌پذیر و مفیدی هستند که می‌توانند به آسانی مسائل بهینه‌سازی مقید و گسسته را اداره کنند. در این مقاله روش SCOPF جهت حل مشکلات RPF و CPF پیشنهاد شد. هدف این مقاله، بهبود ظرفیت انتقال موجود با مکان‌یابی بهینه ادوات خازن سری کنترل‌شده با تایریستور و جبران‌ساز توان راکتیو استاتیکی توسط الگوریتم بهینه‌سازی علف‌های هرز مهاجم در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر بهینه‌سازی هوشمند می‌باشد. نتایج بدست آمده از اجرای شبیه‌سازی مسأله مکان‌یابی ادوات FACTS شامل TCSC و SVC با استفاده از روش‌های مختلف بهینه‌سازی جهت بیشینه‌سازی ATC برای سیستم ۱۴ باس IEEE، نشان دادند که با استفاده از روش بهینه‌سازی و همچنین تابع هدف پیشنهادی می‌توان به نحوی برای تمامی حالت‌های در نظر گرفته شده بر اساس وقوع احتمالی، مقدار ATC انتقال یافته از ناحیه ارسال به ناحیه دریافت را بهبود بخشید. با مشاهده مکان‌های نصب SVC می‌توان دریافت که باس ۱ بعنوان گزینه اصلی نصب SVC بوده‌اند. همچنین تعداد TCSC ها با روش IWO نصب به سایر روش‌ها کمتر بوده است که این امر می‌تواند به کاهش هزینه‌های نصب ادوات FACTS کمک کند. نشان داده شد که با بکارگیری روش بهینه‌سازی علف‌های هرز مهاجم که یک روش مقاوم و با سرعت همگرایی مناسب است، ATC انتقال یافته از ناحیه ارسال به ناحیه دریافت برای هر دو سیستم در نظر گرفته شده، بیشتر از سایر روش‌های بهینه‌سازی در نظر گرفته شده، می‌باشد.

مراجع

[1] Nireekshana, T., G. Kesava Rao, and S. Sivanaga Raju, "Available transfer capability enhancement with FACTS using Cat Swarm Optimization", Ain Shams Engineering, Vol. 7(1), p. 159-167, Journal, 2016.

[2] Farahmand, H., et al., *"Hybrid Mutation Particle Swarm Optimisation method for Available Transfer Capability* enhancement*"*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol.42(1), p. 240-249, 2012.

[3] Kavitha, K. and R. Neela, "Comparison of BBO, WIPSO & PSO Techniques for the Optimal Placement of FACTS Devices to Enhance System Security", Procedia Technology, Vol.25, pp. 824-837, 2016.

[4] Jordehi, A.R., "Particle swarm optimisation (PSO) for allocation of FACTS devices in electric transmission systems: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.52, pp. 1260-1267, 2015.

[5] Chu, J.H.L.a.C.C., "Iterative Distributed Algorithms for Real-Time Available Transfer Capability Assessment of Multiarea Power Systems", IEEE Transactions on Smart Grid. Vol.6(5),pp. 2569-2578.

[6] Eidiani, M., *"Definitions of ATC"*, 2015.

[7] Belwin, K.R.M.R.J., *"Edward Hybrid Particle Swarm Optimization Technique For Optimal Location Of FACTS Devices* Using *Optimal Power Flow"*, European Journal Of Scientific Research,Vol.53, pp. 142-153, 2011.

[8]Rezaee Jordehi, A., et al., *"Enhanced leader PSO (ELPSO): A new algorithm for allocating distributed TCSC's in power systems"*, International Journal of Electrical Power & Energy *Systems*, Vol. 64, pp. 771-784, 2015.

[9] Laifa, A. and M. Boudour, *"Optimal placement and parameter settings of unified power flow controller device using a perturbed particle swarm optimization"*, IEEE International Energy Conference, 2010.

[10] Mori, H. and Y. Maeda, *"A Hybrid Method of EPSO and TS for FACTS Optimal Allocation in Power Systems"*, IEEE *International* Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2006.

[11] Banaei, M.R., S.J. Seyed-Shenava, and P. Farahbakhsh, *"Dynamic stability enhancement of power system based on a typical unified power flow controllers using imperialist competitive algorithm"*, Ain Shams Engineering Journal, Vol. 5(3),pp. 691-702, 2014.

[12] Whei-Min Lin, K.-H.L., Chih-Ming Hong, Chia-Sheng Tu, *"Optimal Location Of Facts For Voltage Stability Using Modified Particle Swarm Optimization"*, Proceedings Of The International *M*ulti Conference Of Engineers And Computer Scientists, 2012.

[13] J.S.Sarda, V.N.P., Dhaval G.Patel, Lalit K.Patel, *"Genetic Algorithm Approach For Optimal Location Of Facts Devices To Improve System Loadability And Minimization Of Losses"*, *International* Journal Of Advanced Research In Electrical, Electronics And Instrumentation Engineering, 2012.

[14] N.K. Yadav, N. Devi, I. Ibraheem, " *TCSC Based Self Adaptiveness in Particle Swarm Optimization for ATC Enhancement: An Algorithmic Analysis"*, 2020 IEEE 9th Power India International Conference (PIICON), 2020.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[15] V. Dukovic, A.S. Savic, " *ATC enhancement using TCSC device regarding uncertainty of realization one of two simultaneous transactions"*, International Journal of electrical Power & Energy systems, vol. 115, 2020.
[16] Wirmond, V.E., T.S.P. Fernandes, and O.L. Tortelli, *"TCPST allocation using optimal power flow and Genetic Algorithms*", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 33(4), pp. 880-886, 2011.
[17] *M. Reddy, T. Nireekshana,* "Enhancement of Available Transfer Capability using FACTS Devices", Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, 2019.
[18] P.Sharmila, J. Baskaran, C. Nayanatara, S. Ganesh &*Haari*haran, *"Congestion Management in Deregulated Power Systems using Genetic Algorithm"*, International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS), 2020.
[19] Jordehi, A.R., *"Optimal allocation of FACTS devices for static security enhancement in power systems via imperialistic competitive algorithm (ICA)"*, Applied Soft *Computing*, 2016.
[20] S. Madadi, B. Mohammadi-ivatloo, S. Tohidi, *"Probabilistic Available Transfer Capability Evaluation Considering Dynamic Line Rating Based on a Sequential Game-Theoretic Approach"*, Ieee Systems Journal, vol. 16, no. 1, pp. 891-901, 2021.
[21] Nireekshana, T., G. Kesava Rao, and S. Siva Naga Raju, *"Enhancement of ATC with FACTS devices using Real-code Genetic Algorithm"*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 43(1),pp. 1276-1284, 2012.
[22] Singh, Y.O.a.C., *"Assessment of available transfer capability and margins"*, IEEE Transactions on Power Systems,Vol. 17(2): p. 463-468.2002.
[23] Acharya, N. and N. Mithulananthan, *"Locating series FACTS devices for congestion management in deregulated electricity markets"*, Electric Power Systems Research, Vol. 77(3), pp. 352-360, 2007.

رزومه

علی کوچ پی ده در نوشهر متولد شده است(۱۳۴۷). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی فیزیک کاربردی گرایش حالت جامد از دانشگاه رازی کرمانشاه (۱۳۷۴) و کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام(ره) (۱۳۹۶) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS ، شبکه‌های توزیع برق و کیفیت توان است و در حال حاضر کارمند شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ می‌باشد.

محمد تبریزیان در سال ۱۳۴۹ متولد شده است، تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق-قدرت از دانشگاه صنعتی شریف(۱۳۷۱)، کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت از دانشگاه فردوسی مشهد(۱۳۷۷) و دکترای مهندسی برق-قدرت از دانشگاه تربیت مدرس(۱۳۸۹) سپری کرده است، فعالیت پژوهشی و علاقمندی ایشان در زمینه سیستم‌های قدرت تجدیدساختار شده و بازار برق، برنامه‌ریزی و مدیریت و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت، طراحی و بهره‌برداری شبکه-های توزیع و تاسیسات الکتریکی، مهندسی انرژی و مدیریت انرژی است و در حال حاضر استادیار گروه مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام(ره) شهرری می‌باشد، از نامبرده تاکنون حدود سی و پنج مقاله علمی در مجلات و کنفرانس‌های معتبر داخلی و خارجی منتشر شده است.

حمیدرضا شاهمیرزاد در تهران متولد شده است(۱۳۶۴). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندس برق-الکترونیک از دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد(۱۳۸۹) و کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام(ره) (۱۳۹۸) سپری کرده است. علاقه‌مندی و فعالیتهای ایشان در زمینه های بهینه سازی و مدیریت انرژی، بازار برق، اینترنت اشیاء، طراحی، تامین و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع و تاسیسات الکتریکی پلنتهای صنعتی، بومی سازی تجهیزات خاص الکتریکی صنایع مادر تخصصی است و در حال حاضر کارمند شرکت بین المللی مهندسی ایران(ایریتک) از زیرمجموعه های سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران(ایمیدرو) می‌باشد. از نامبرده بیش از پانزده مقاله در مجلات و کنفرانسهای معتبر داخلی منتشر شده است.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

ATC Enhancement in Power Systems by TCSC and SVC Equipment Using Invasive Weed Optimization Method

Ali Kouchpideh[1], Mohammad Tabrizian[2], Hamidreza Shahmirzad[3]

1- Electrical Engineering, Greater Tehran Electric Power Distribution Company, Tehran, Iran, alikouch1349@yahoo.com

2- Assistant Professor - Department of Electrical Engineering-Yadegar-e-Imam Khomeini(Rah) Shahre-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, mm_tabrizian@yahoo.com

3- Department of Electrical Engineering-Yadegar-e-Imam Khomeini(Rah) Shahre-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, hr.shahmirzad@gmail.com

Abstract: Electricity transmission lines in the unstable state have problems such as the increased voltage at the end of the line and loss of stability, and in pregnancy, problems such as voltage drop and loss of transmissible capacity, and in some cases of voltage instability, include transient power fluctuations and instability due to disturbances. These problems are exacerbated by the increase in the length of transmission lines. To solve these problems, the active and reactive voltages and capacities must be controlled momently to reduce line losses and increase power transmission capacity as well as improve reliability and maintain voltage stability the use of FACTS equipment is now expand worldwide and can be studied and proposed for the prospects of Iran's national grid. In this article, a more complete model based on weighted and ranked of different possible events simultaneously and optimally locating two examples of these devices including Thyristor Controlled Series Compensator (TCSC) and Static Reactive Power Compensator (SVC) to improve Available Transfer Capability (ATC) is proposed in 14-bus and 24-bus power networks by the IWO (Invasive Weed Optimization) method and then its results will be compared and evaluated with other optimization methods.

Keywords: Flexible AC Transmission System (FACTS), Available Transfer Capability (ATC), Thyristor Controlled Series Compensator (TCSC), Static Reactive Power Compensator (SVC), Invasive Weed Optimization (IWO) Method

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-25]