انتخاب وجایابی بهینه ادوات FACTS به‌منظور کاهش تلفات شبکه قدرت به‌کمک الگوریتم ژنتیک

سعید اباذری[۱]، غضنفر شاهقلیان[۲]، امید قناعتی[۳]
۱- استادیار، دانشگاه شهرکرد، saeedabazari@yahoo.com
۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، shahgholian@iaun.ac.ir
۳- کارشناس ارشد، دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، ghanaati.omid@gmail.com

چکیده

با گسترش روزافزون مصرف انرژی در دنیا، توسعه شبکه‌های قدرت امری ضروری است. اما ایجاد خطوط انتقال جدید مستلزم صرف زمان و هزینه‌های گزاف بوده و لذا درصورت امکان استفاده از همان خطوط با ظرفیت انتقال بالاتر بسیار مقرون به‌صرفه می‌باشد. در همین راستا درسال‌های اخیر با معرفی ادوات FACTS به شبکه‌های قدرت، استفاده از آنها در کشورهای صنعتی، جهت افزایش ظرفیت خطوط انتقال متداول شده است. در این مقاله با جایابی بهینه این ادوات در شبکه قدرت توسط الگوریتم ژنتیک، به کاهش هر چه بیشتر تلفات و افزایش ظرفیت انتقال انرژی در خطوط کمک می‌شود و در پایان با شبیه‌سازی شبکه تست شش باسه IEEE و قرار دادن ادوات FACTS در آن این امر اثبات خواهد شد.

کلمات کلیدی

ادوات FACTS، UPFC، TCSC، SVC، جایابی، الگوریتم ژنتیک

۱– مقدمه

یکی از مهمترین دغدغه‌های امروزه بشر، تأمین انرژی است. انرژی از ارکان اصلی اقتصاد به‌شمار می‌آید و در این میان برق به‌عنوان عالی‌ترین نوع انرژی جایگاه ویژه‌ای دارد. امروزه میزان تولید و مصرف انرژی برق شاخص رشد اقتصادی جوامع و یکی از معیارهای سنجش رفاه محسوب می‌شود. کاهش ذخایر نفت و گاز از یک‌سو و افزایش میزان مصرف انرژی در سطح جهان از سوی دیگر پژوهشگران و محققین را برآن داشت تا برای افزایش راندمان و ارتقای بهره‌وری نیروگاه‌ها، کاهش تلفات و حفظ محیط زیست توجهی جدی به بهینه‌سازی تولید و انتقال انرژی در شبکه‌های قدرت داشته باشند. در همین راستا در سال‌های اخیر با گسترش صنعت الکترونیک قدرت، سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر (FACTS)[۱] به شبکه‌های قدرت ارائه شد و باتوجه به قابلیت‌های فراوان و کاربردهای وسیع به‌سرعت در شبکه‌های انتقال قدرت بکارگرفته شد و تحولی در سیستم‌های انتقال ایجاد کرد. ازمشخصه‌های بارز عناصر FACTS می‌توان به رنج عملکرد وسیع، پاسخ سریع و قابلیت اطمینان بالا اشاره کرد. با توجه به استاندارد IEEE، ادوات FACTS سیستم را به یک یا چند مورد از توانایی‌های زیر مجهز می‌نماید.[۱،۲،۳]:

- کنترل منظم پخش بار
- حداقل کردن هزینه‌های تولید و بهره‌برداری
- افزایش پایداری دینامیکی
- بالابردن قابلیت بارگیری خطوط باهمان ظرفیت گرمایی
- کاهش توان راکتیو لازم در سیستم انتقال

Archive of SID

www.SID.ir

جهت استفاده کامل از توانایی‌های عناصر FACTS لازم است تا بهترین مکان برای این عناصر انتخاب شود برای این منظور در برخی مقالات از پخش بار بهینه با هدف افزایش سطح بارگذاری یا کاهش تلفات استفاده شده است [۴]. از روش هیبرید TS^2/SA^3 و به‌منظور کمینه‌سازی هزینه‌های تولید این عمل انجام گرفته است[۵] و در تحقیق‌های اخیر از الگوریتم ژنتیک برای جایابی ادوات FACTS برای کاهش هزینه‌ی تولید و سرمایه‌گذاری استفاده شده است[۶]، در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با درنظرگرفتن همزمان تلفات (افزایش سطح بارگذاری) و هزینه‌ها به بهینه‌سازی همزمان نوع، مقادیر نامی و مکان می‌پردازیم. حال در ابتدا به مدل‌سازی عناصر FACTS پرداخته سپس یک سیستم نمونه را شبیه‌سازی کرده‌ایم.

۲– مدل‌سازی ادوات FACTS

با توجه به اطلاعات موجود در منبع [۷] کنترل‌کننده‌های FACTS برحسب نحوه قرارگیری در شبکه انتقال به سه دسته تقسیم می‌شوند و برای هر یک از انواع مورد استفاده در این مقاله مدل مناسب ارائه خواهد شد.

۱.عناصر FACTS سری: این عناصر به‌صورت سری در خط انتقال قرار می‌گیرند و معمولاً با تغییر راکتانس خط به تولید یا جذب توان راکتیو می‌پردازند. پرکاربردترین عضو این خانواده TCSC می‌باشد.

۲.عناصر FACTS موازی: این عناصر به‌صورت موازی در شبکه قرار می‌گیرند و معمولاً به یکی از شین‌های شبکه متصل شده با جذب یا تزریق توان راکتیو به شبکه ولتاژ نقطه اتصال را کنترل می‌کند. معروف‌ترین عضو این مجموعه SVC نام دارد.

۳.عناصر FACTS سری-موازی: این عناصر مجموعه‌ای از دو دسته قبلی می‌باشند و مهمترین عضو این خانواده UPFC می‌باشد. که از نظر عملکرد بسیار قوی بوده و تنها محدودیت آن هزینه بالای آن است.

۲–۱– مدل SVC

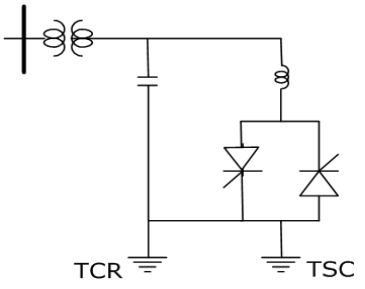
SVC از یک TCR (امپدانس راکتیو به‌اندازه X_L به‌همراه یک والوتایریستوری دوجهتی) موازی با یک بانک خازنی X_C تشکیل شده است و در مدار به‌عنوان یک راکتانس متغیر موازی با جذب یا تولید توان راکتیو ولتاژ نقطه اتصال خود به شبکه را تنظیم می‌کند. کاربرد عمده آن تأمین سریع توان راکتیو و پشتیبانی ولتاژ بوده و کنترل زاویه آتش تایریستور SVC را قادر به پاسخ‌گویی تقریباً آنی کرده است. در شکل (۱) شمایی داخلی از SVC را مشاهده می‌کنیم.

قسمت قابل کنترل راکتانس TCR، X_V بوده و از رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$X_V = \frac{\pi}{2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha} \qquad (۱)$$

که در آن α زاویه آتش تایریستور می‌باشد. سوسپتانس مؤثر B درTCR به‌صورت معادله (۲) است.

$$B = \frac{X_V + X_C}{X_V X_C} \qquad (۲)$$



شکل ۱- شمای مداری(FC-TCR (SVC

۲–۲– مدل TCSC

TCSC به‌عنوان یک راکتانس قابل کنترل تزریق‌شده به خط انتقال عمل می‌کند. TCSC ازیک شاخه حاوی یک بانک خازنی وشاخه‌ای موازی با آن شامل تایریستور کنترل‌شده و بانک سلفی تشکیل شده که با کنترل شاخه سلفی به اصلاح راکتانس خط می‌پردازد. راکتانس TCSC از رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$X_{TCSC} = \frac{X_C X_L}{\frac{X_C}{\pi}[2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha] - X_L} \qquad (۳)$$

که در آن α زاویه آتش تایریستور، X_C راکتانس خازنی و X_L راکتانس سلفی می‌باشد.TCSC به‌صورت سری در خط قرار می‌گیرد وطبق رابطه (۴) با راکتانس خط در ارتباط است.

$$X_{ij} = X_{line} + X_{TCSC} \qquad (۴)$$

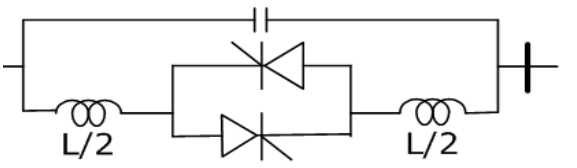
برای مدل‌سازی بهتر TCSC در مسائل بهینه‌سازی آن را به‌صورت رابطه (۵) تعریف می‌کنند.

$$X_{TCSC} = r_{TCSC} \times X_{line} \qquad (۵)$$

که در آن r فاکتور جبران‌سازی TCSC بوده و بسته به این‌که در کدام نقطه از خط قرار گیرد متفاوت خواهد بود رنج آن بین ۰/۷- تا ۰/۲ قرار دارد. نمای کلی TCSC در شکل (۲) قابل مشاهده است[۸].

Archive of SID

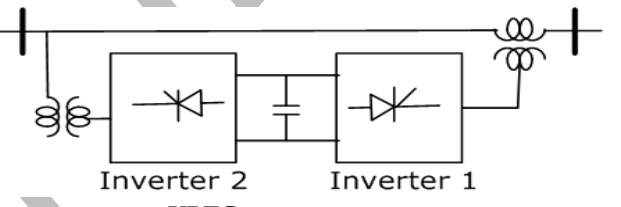
www.SID.ir



شکل ۲- مدار معادل TCSC

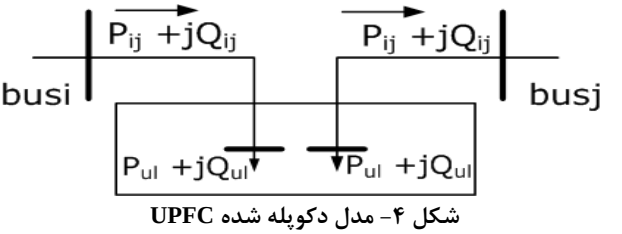
۲-۳- مدل UPFC

اساساً UPFC دارای دو منبع ولتاژ اینورتری(VSI) و یک خازن DC مشترک بین آنها می‌باشد. و توسط دو ترانسفورماتور به‌صورت سری-موازی به شبکه متصل می‌شود. در شکل (۳) ساختار کلی UPFC قابل مشاهده است.



شکل ۳- ساختار کلی UPFC

برای مطالعه UPFC، آن را به دو صورت مدل‌سازی می‌کنند، یکی مدل کوپل (زوجی) شده ودیگری مدل دکوپله (مجزا). مدل اول به‌دلیل نیاز به‌اصلاح ماتریس جاکوبین پیچیده‌تر است حال آن‌که مدل دوم را به‌راحتی می‌توان در الگوریتم‌های پخش بار وارد کرد بدون آنکه نیاز به‌اصلاح یا ساده‌سازی ماتریس جاکوبین باشد. در اکثر مقالات مربوط به پخش بار از مدل دکوپله استفاده می‌شود. در شکل (۴) این مدل قابل مشاهده است.



شکل ۴- مدل دکوپله شده UPFC

در سال‌های اخیر با معرفی الگوریتم‌های هوشمند، برای انجام محاسبات پیچیده از جمله مسئله جایابی ادوات FACTS در شبکه‌های انتقال، از این الگوریتم‌ها استفاده می‌شود. از جمله این الگوریتم‌ها می‌توان به روش‌های Tabu search (TS)، شبیه‌سازی آبکاری فولاد (SA)، الگوریتم ژنتیک (GAs) وبهینه‌سازی گروه زنبورها (PSO) اشاره نمود. در این مقاله به الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است [۹].

۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های جستجوی کلی است که بر اصول و مکانیسم ژنتیک طبیعی و انتخاب و بقای برتر بنا شده است. در این الگوریتم بین ساختارهای رشته‌ای که مشابه کروموزوم‌های طبیعی می‌باشند با استفاده از اصل بقای برتر ساختاربندی شده ولی تبادل اتفاقی اطلاعات در بین آن رشته‌ها ایجاد الگوریتمی جستجوگر می‌نماید که درخود جنبه‌های ابداع‌گرانه کاوش‌های بشری را هم دارا است. در هر نسل از این الگوریتم موجودات مصنوعی جدیدی از مناسب‌ترین و بهترین افراد نسل گذشته خلق شده و به‌عنوان معیار بهبود کیفی آنها مقدار برازندگی جدیدی به بوته آزمایش گذاشته می‌شود. درحالی‌که الگوریتم ژنتیک بر اصول احتمالاتی بنا شده است اما جستجوی اتفاقی لزوماً بی‌هدف و بی‌جهت و نتایج حاصله ازآن اتفاقی نبوده بلکه با کاربرد اطلاعات قبلی، نتایج جدیدی با عملکرد بس بهتر و با کیفیتی برتر از گذشته حاصل می‌شود. الگوریتم ژنتیک روشی تکراری برای کاوش است که هدف جستجویش بهینه‌کردن یک تابع بنام تابع برازندگی، تعریف شده از سوی کاربر می‌باشد. برای دستیابی به این مهم الگوریتم جمعیتی مناسب برای این منظور را از تمام فضای جستجو گردهم می‌آورد و پس از مقایسه با تابع برازندگی به هر فرد یک مقدار برازندگی اختصاص داده و با عملگرهایی شبیه تکثیر، ترکیب و جهش به تولید جمعیتی جدید می‌پردازد و درنهایت به جمعیت مطلوب دست می‌یابد. بالاترین امتیاز این الگوریتم عدم نیاز آن به اطلاعات قبلی و خواص ویژه است. این الگوریتم دارای چند مرحله و فاکتور اساسی به قرار زیر است [۱۰].

۳-۱- رمزگذاری

برای انجام محاسبات توسط الگوریتم ژنتیک در ابتدا لازم است پارامترهای معادله مورد نظر کدگذاری شود. در این مقاله سه پارامتر محل نصب، نوع و مقادیر نامی عنصر FACTS رمزگذاری می‌شود و هر یک توسط شماره‌ای (ژن) در یک ردیف (کروموزم) قرار می‌گیرند. که اولین شماره نشان‌دهنده مکان قرارگیری عنصر FACTS است، دومین شماره نوع آن را نشان می‌دهد و سومین شماره نیز شاخص r بوده که طبق فرمولی ویژه برای هر عنصر، مقادیر نامی را مشخص می‌کند. در جدول (۱) نمونه‌ای از کروموزم کدگذاری شده قابل مشاهده است.

جدول ۱- کروموزم کدگذاری شده برای الگوریتم ژنتیک

مقادیرنامی	نوع وسیله	محل قرارگیری
۰/۲	۱	۴

Archive of SID
www.SID.ir

۳-۲- جمعیت اولیه

شامل تعدادی از افراد کدگذاری شده در مرحله قبل می‌باشد که به‌طور اتفاقی توسط خود الگوریتم ژنتیک انتخاب می‌شوند.

۳-۳- برآورد میزان سازگاری

بعد از رمزگذاری جمعیت اولیه، باید برای هر یک ازافراد میزان سازگاری تعیین شود، سازگاری یک معیار از کیفیت است و برای اهداف مختلف متفاوت خواهد بود.

۳-۴- تابع هدف

تابع هدف تابعی برای بررسی میزان سازگاری افراد است که با توجه به هدف بهینه‌سازی توسط کاربر تعریف می‌شود و مهمترین قسمت الگوریتم ژنتیک و اساس کار برنامه بهینه‌سازی می‌باشد. در این مقاله دو هدف به‌طور همزمان درنظر گرفته شده است. که عبارتند از کاهش تلفات سیستم و کاهش هزینه‌های تولید انرژی و بهره‌برداری از خطوط انتقال.

۳-۴-۱- تلفات شبکه

تلفات در سیستم‌های انتقال امری غیرقابل اجتناب بوده که باعث محدودشدن توان انتقالی در خطوط می‌شود و همواره هزینه‌هایی اضافی به شبکه تحمیل می‌کند لذا کاهش هر چه بیشتر آن همواره هدف طراحان خطوط انتقال می‌باشد. در این مقاله تلفات کلی شبکه توسط پخش بار به‌روش نیوتن - رافسون بدست آمده وبه‌عنوان یکی از فاکتورهای تابع هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۰].

۳-۴-۲- تابع هزینه

هزینه کلی سیستم از دو جزء تشکیل شد است که در رابطه (۶) دیده می‌شود.

$$C_{Total} = C_{PG} + C_{FACTS} \qquad (۶)$$

قسمت اول، C_{PG} مربوط به هزینه‌های تولید انرژی در نیروگاه‌ها بوده واز رابطه (۷) بدست می‌آید.

$$C_{PG} = \alpha_0 + \alpha_1 P_G + \alpha_2 P_G^2 \qquad (۷)$$

که در آن P_G توان حقیقی خروجی نیروگاه و αها ضرایبی ثابت هستند که برای نیروگاه‌های مختلف متفاوت بوده و در مشخصات شبکه داده می‌شود.

قسمت دوم، C_{FACTS} تابع هزینه سرمایه‌گذاری ادوات FACTS است که برای عناصر مختلف متفاوت است و در زیر برای UPFC&SVC&TCSC و با توجه به استاندارد شرکت زیمنس آورده شده است.

برای UPFC:

$$C_{UPFC} = 0.0003S^2 - 0.269S + 188.22 \qquad (۸)$$

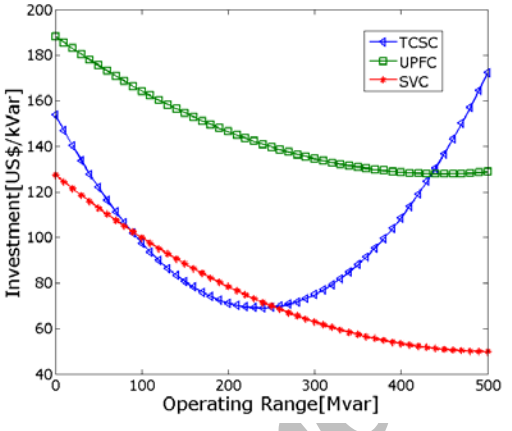
برای TCSC:

$$C_{TCSC} = 0.0015S^2 - 0.713S + 153.75 \qquad (۹)$$

و برای SVC داریم:

$$C_{SVC} = 0.0003S^2 - 0.305S + 127.38 \qquad (۱۰)$$

که واحد برای هر سه ($/KVAR) بوده ودر آنها S رنج عملکرد ادوات FACTS برمبنای KVAR است. برای هم‌واحد کردن تابع هزینه‌های سرمایه‌گذاری ادوات FACTS با هزینه‌های تولید انرژی در نیروگاه، جواب تابع را بر مقدار (۵×۸۷۶۰) تقسیم می‌کنیم. در شکل (۵) مقایسه تابع هزینه این سه عنصر با یکدیگر قابل مشاهده است.



شکل ۵- مقایسه تابع هزینه ادوات FACTS

حال برای بررسی میزان سازگاری هر جمعیت از الگوریتم ژنتیک، به‌کمک تابع هزینه کلی سیستم و تلفات خطوط انتقال، تابع هدف را به‌صورت رابطه (۱۱) معرفی می‌کنیم [۱۲].

$$F = \alpha_1 C_{Total} + \alpha_2 Loss \qquad (۱۱)$$

که در آن a_1 تا a_2 ضرایب ثابتی هستند که مقدار آنها به‌کمک سعی و خطا بدست آمده به‌ترتیب برابر است با ۰/۱۴۲۱ و۰/۰۲ . در الگوریتم پیشنهادی سعی بر این است که با انتخاب جایابی و تعیین بهینه پارامترهای ادوات FACTS دو تابع هزینه و تلفات کلی سیستم را کمینه کنیم. که میزان تأثیر این دو تابع وابسته به ضریب‌های بیان شده می‌باشد.

Archive of SID

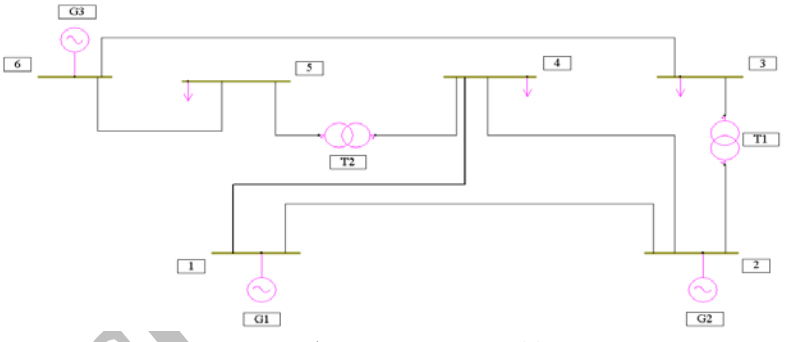
www.SID.ir

۴– نتایج شبیه‌سازی

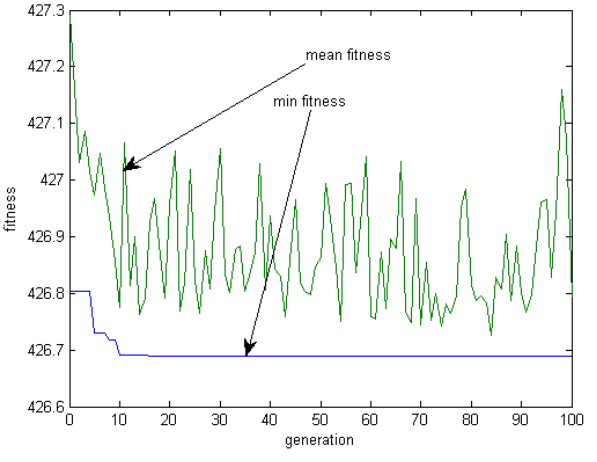
حال برای اثبات عملی بودن بحث‌های مطرح شده سیستم تست ۶ باسه IEEE (قابل مشاهده در شکل (۶)) را در نرم‌افزار matlab شبیه‌سازی می‌کنیم سپس با نوشتن m-fileهای لازم الگوریتم ژنتیک را به‌صورت زیر ایجاد می‌کنیم. این الگوریتم ابتدا از میان تمام حالت‌های ممکن جمعیت اولیه را به‌صورت اتفاقی انتخاب کرده و با توجه به کروموزم‌های بدست آمده تغییرات لازم را در شبکه ایجاد می‌کند، سپس به‌روش نیوتن - رافسون پخش بار را انجام می‌دهد و تلفات کلی سیستم، هزینه‌های تولید نیروگاهی واجرای ادوات FACTS را بدست می‌آورد (که همان برازندگی کروموزم‌ها می‌باشد). با تکرار این پروسه و مقایسه میزان برازندگی‌ها بهترین کروموزم (در جدول(۲) مشاهده می‌شود) توسط الگوریتم ژنتیک معرفی می‌شود. در شکل خروجی برنامه (شکل (۷)) روند تغییر برازندگی برای ۱۰۰ تکرار آورده شده که با توجه به تابع هدف، کاهش آن به معنی کاهش تلفات و هزینه کلی شبکه می‌باشد. در پایان نتیجه الگوریتم را با حالت عدم حضور عناصر و چند حالت انتخاب و جایابی دستی عناصر FACTS مقایسه کرده‌ایم که نتایج آن در جدول (۳) مشاهده می‌شود. و در پایان در جدول (۴) برای داشتن دیدی مناسب از روش پیشنهادی با استفاده از مقادیر داده شده در مقاله[۷] نتایج این روش را با نتایج آن مقاله مقایسه شده است که نشان می‌دهد نتایج تا حدودی مشابه است که البته الگوریتم ژنتیک سریعتر بوده و به‌نسبت مقادیر بهتری را ارائه خواهد کرد اما در سیستم‌های گسترده این زمان افزایش می‌یابد. البته دلیل دیگر این اختلاف ناشی از هدف بهینه‌سازی است. چون در اینجا هدف کاهش تلفات و در مقاله مذکور هدف بهبود شاخص‌های SOL و CSi می‌باشد.

جدول ۲- کروموزم پیشنهادی توسط الگوریتم ژنتیک

مقادیرنامی	نوع وسیله	محل قرارگیری
۰/۷۴۰۱۷	svc	باس۵



شکل ۶- سیستم تست ۶ باسه IEEE



شکل ۷- Mean fitness: متوسط برازندگی در هر تکرار از الگوریتم ژنتیک
Min fitness: کمترین برازندگی در هر تکرار از الگوریتم ژنتیک

www.SID.ir

جدول ۳- مقایسه حالت پیشنهادی برنامه با چند حالت ممکن دیگر

	بدون FACTS	چند حالت دلخواه به انتخاب کاربر				پیشنهاد برنامه
نوع عنصر	۰	SVC	TCSC	UPFC	TCSC	SVC
محل نصب	۰	باس۳	باس۴	باس۳	باس۵	باس۵
رنج عملکرد(r)	۰	۱	-۰/۵۱۲	-۱	۰/۷۴۰۱۷	۰/۷۴۰۱۷
هزینه کلی	۳۰۰۳/۸	۳۰۰۴/۷	۳۰۰۴/۸	۳۰۰۵	۳۰۰۳/۹	۳۰۰۲
تلفات سیستم	۹/۸۲۱۳	۱۰/۵۰۹۸	۸/۲۶۶۲	۱۴/۸۴۳۲	۱۰/۱۴۲۱	۵/۲۸۱۶
برازندگی	۴۲۷/۰۴۱۵	۴۲۷/۱۷۶۴	۴۲۷/۱۵۱۸	۴۲۷/۳۰۶۶	۴۲۷/۰۵۸۷	۴۲۶/۶۲۲۷

جدول ۴- مقایسه روش پیشنهادی با نتایج منبع شماره[۶]

	هزینه‌های ناشی از جبران کننده‌ها	مکان عنصر در شبکه	نوع عنص مورد استفاده			راکتانس TCSC	توان راکتیو
			SVC	TCSC	UPFC		
نتایج مقاله[۶]	3.7821e06	3-5	0	0	1	0.4978	-155.1191
نتایج روش پیشنهادی	3.0020e06	5-6	1	0	0	0	0.74017

۵-نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج شبیه‌سازی درمی‌یابیم که می‌توان به‌کمک الگوریتم ژنتیک بهترین محل با بیشترین کارایی را با انتخاب مناسب نوع جبران‌کننده بدست آورد و در این فرآیند به ضرایب مهم تلفات و هزینه اقتصادی توجه ویژه‌ای شده است که با مقایسه روش پیشنهادی با مقاله معرفی شده به‌عنوان منبع [۷] سودمندی این روش به اثبات رسید. در این مقاله تنها دو فاکتور تلفات و هزینه به‌عنوان تابع هدف درنظر گرفته شده که انتظار می‌رود در مطالعات بعدی با درنظرگرفتن چند فاکتور دیگر مانند امنیت شبکه تابع هدف گسترده‌تر شده و برای تست میزان کارایی آن از شبکه‌های بزرگتر استفاده گردد.

۶- مراجع

[1] N. G. Hingurani, L. Gyugyi; **"Understanding FACTS: Concept and Technology of Flexible AC transmission System"**, IEEE Press, New York, 2000.

[2] M. Noroozian, L. Angquist, M.ghandhari, G. Anderson; **"Improving Power System Dynamic by Series-connected FACTS Devices"** IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, October 1997.

[3] M. Noroozian, L. Angquist, M. Ghandhari, G. Anderson; **"Use of UPFC for Optimal Power Flow Control"**, IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, October 1997.

[4] J. A. Momoh, J. Z. Zhu; **"A new Approach to Optimal Power Flow with Phase Shifter"**, IEEE International Conference on systems, Man, and Cybernetics, Vol. 5, pp. 4794-4799, 1998.

[5] P. Bhasaputra, W. Ongaskul; **"Optimal Placement of Multi-Type FACTS Devices by Hybrid TS/SA Approach"**, Industrial Technology, IEEE ICIT'02. IEEE International Conference, Vol. 1, 11-14 Dec. 2002.

[6] L.J.Cai, I.Erlich, **"optimal Choice and Allocation of FACTS Devices Using Genetic Algorithms"**, ISAP Conference, Lemnos, Greece, August 31-Sept3, 2003

Archive of SID

www.SID.ir

[7] S. Sutha, and N. Kamaraj **"Optimal Location of Multi Type Facts Devices for Multiple Contingencies Using Particle Swarm Optimization"** International Journal of Electrical and Electronics Engineering, 1:1 2008.

[8] Y. H. Song, A. T. Johns. **"Flexible AC Transmission Systems (FACTS)"**, IEE Press, London, 1999. ISBN 0-85296-771-3.

[9] S. Phoomvuthisarn, S. Biansoongnern S. Chusanapiputt, **"Optimal SVC and TCSC Placement for Minimization of Transmission Losses"**, International Conference on Power System Technology, IEEE 2006.

[10] J. Baskaran, V. Palanisamy; **"Optimal Location of FACTS Device in a Power System Network Considering Power Loss using Genetic Algorithm"**, IEE-Pub on line Journal, March 7, 2005.

[11] K. Vijayakumar, Dr. R. P. Kummudinidevi; **"A New Method for Optimal Location of FACTS Controller using Genetic Algorithm"**, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2005.

[12] H. R. Baghaee, M. Jannati, B. Vahidi, S. H. Hosseinian and S. Jazebi, **"Optimal Multi-type FACTS Allocation Using Genetic Algorithm to Improve Power System Security"**, IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, October 2008.

۷– پی‌نوشت‌ها

1- Flexible AC transmission system
2- Tabu Search
3- Simulated Annealing

Archive of SID

www.SID.ir