Archive of SID

فصل‌نامهٔ مطالعات اقتصاد انرژی/ سال پنجم / شمارهٔ ۱۶/ بهار ۱۳۸۷/ صفحات ۱۹۹ -۱۸۵

جایابی بهینهٔ ادوات FACTS با استفاده از الگوریتم ژنتیک، به‌منظور کاهش هزینه‌های ناشی از افت ولتاژ در شبکه

اکبر بیک خورمیزی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت، دانشگاه صنعت آب و برق(شهید عباسپور)

Akbar_beik@yahoo.com

وحید قربانی

دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی، دانشگاه صنعت آب و برق(شهید عباسپور)

Vahidghorbani203@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۷/۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۰/۲۳

چکیده

در این مقاله جایابی بهینهٔ ادوات FACTS با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با هدف حداقل کردن خسارات مالی ناشی از افت ولتاژ بررسی شده است. مکان، نوع و ظرفیت نامی ادوات FACTS به‌عنوان پارامترهای بهینه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند. جایابی برای دو کنترلر SVC و STATCOM انجام گرفته و شبیه‌سازی بر روی شبکهٔ ۲۹۵ شینه GDS (شبکه جامع توزیع) انجام شده است. نتایج آنالیز اقتصادی قبل و پس از نصب ادوات نشان می‌دهد که هزینه‌های کلی سیستم در صورت استفاده از ادوات FACTS کاهش قابل ملاحظه‌ای دارند. ارزیابی اقتصادی با استفاده از تکنیک B/C حاکی از آن است که یک درصد افزایش هزینهٔ نصب ادوات، منجر به افزایش ۳/۵۸ درصدی سود اقتصادی خواهد شد. ۳۹/۲۱ درصد نرخ بازدهی داخلی توجیه‌پذیری اقتصادی پروژه را نشان می‌دهد.

طبقه‌بندی JEL : Q33, Q32, H43, D61, D23, C65, C63, C61

کلید واژه: ادوات FACTS، افت ولتاژ، کنترلر SVC و STATCOM، الگوریتم ژنتیک، تکنیک B/C، نرخ بازده داخلی، ارزیابی اقتصادی.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

افت ولتاژ به معنای کاهش مقدار مؤثر ولتاژ از مقدار نامی است که می‌تواند ناشی از بروز خطا یا عوامل دیگر باشد این پدیده سبب از کار افتادن وسایل مصرف کنندگان شده و خسارات مالی زیادی را بر مصرف کننده تحمیل می‌کند(زانگ و میلانوویچ [1]، ۲۰۰۷).

در این مطالعه به‌منظور ارزیابی تأثیر ادوات FACTS [2] در کاهش هزینه‌های ناشی از افت ولتاژ در شبکه، از معیار خسارات مالی سالیانه شبکه استفاده و به کمک الگوریتم ژنتیک(GA) [3]، نوع، مقدار نامی و مکان بهینهٔ ادوات FACTS بررسی شده‌اند. هدف، بهینه کردن این پارامترها با استفاده از تابع ارزش فعلی خالص [4] (NPV) است، به‌طوری‌که خسارات مالی حداقل شود. روش پیشنهادی بر روی شبکه ۲۹۵ باس GDS [5] پیاده شده است. ارزیابی اقتصادی انجام پذیرفته در جهت بررسی توجیه‌پذیری پروژه حاضر بوده است. ابتدا ارزش فعلی هزینه‌ها و درآمدها با استفاده از مقادیر هزینه و درآمد ناخالص، محاسبه و سپس با استفاده از تکنیک B/C [6]، توجیه اقتصادی نصب ادوات بررسی شده است. با استفاده از روش حاضر می‌توان مقدار افزایش در سود اقتصادی را به‌ازای یک واحد افزایش در هزینهٔ نصب ادوات، تعیین کرد. در نهایت مقایسهٔ نرخ بازدهی داخلی [7] (IRR) با نرخ سود انجام پذیرفته است.

در بخش ۲، مروری بر ادبیات موضوع خواهیم داشت. بخش ۳، به معرفی هزینهٔ ادوات FACTS و حداقل‌سازی خسارات مالی با استفاده از تابع ارزش فعلی خالص پرداخته است. مسئلهٔ بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک در بخش ۴ آمده است. در بخش ۵، به بررسی اقتصادی نصب ادوات پرداخته شده و توجیه‌پذیری پروژه با کمک تکنیک (B/C) و نرخ بازدهی داخلی نشان داده شده است. نتایج آنالیز فنی و اقتصادی نصب ادوات FACTS در بخش ۶ بیان شده و در نهایت نتیجه‌گیری این تحقیق در بخش ۷ آمده است.

1 - Zhang & Milanovic.
2- Flexible AC Transmission System
3- Genetic algorithm.
4- Net Present Value.
5- Generic Distribution System.
6- Benefit/cost.
7- Internal Rate of Return.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- ادبیات موضوع

با توجه به این‌که در جامعهٔ مدرن امروزی الکتریسیته یکی از مهم‌ترین نیازها است، چالش‌هایی نظیر افزایش توان درخواستی و تلفات بیش از حد در سیستم، اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کنند. تا چند سال قبل این موضوعات با استفاده از ادوات الکترومکانیکی حل می‌شدند (وانگ و همکاران[1]، ۲۰۰۵). با پیشرفت الکترونیک قدرت، ادوات جدید، قابلیت کنترل یک یا چند پارامتر سیستم انتقال را راحت‌تر از گذشته فراهم آوردند. این ادوات به عنوان کنترلرهای سیستم انتقال AC انعطاف‌پذیر (FACTS) شناخته می‌شوند. از فواید استفاده از ادوات FACTS، می‌توان به بهبود رفتار دینامیکی سیستم، ارتقای سطح قابلیت اطمینان، کاهش تلفات و ... اشاره کرد. هر چند ادوات FACTS فواید بسیاری دارند، اما به‌دلیل قیمت بالای آن‌ها، در بسیاری از زمینه‌ها مورد استفاده نیستند. ممکن است این سوال پیش آید که آیا استفاده از ادوات FACTS از نظر اقتصادی مفید خواهد بود؟ (زانگ و میلانوویچ، ۲۰۰۷)

گرچه یک کنترلر FACTS هزینهٔ سرمایه‌گذاری زیادی دارد، اما باید توجه داشت در طول عمر عملکرد خود سال‌ها بهبود ولتاژ و کنترل توان را با هزینهٔ تعمیر و نگهداری کمی انجام خواهد داد. لذا در پاسخ به این سئوال باید گفت که استفاده از این ادوات هم از نظر اقتصادی و هم از نظر طول عمر، مؤثر و مفید واقع خواهد شد (ویجاواکومار و کومودینیدوی[2]، ۲۰۰۵). در هر حال برای بهینه کردن و استفادهٔ هر چه مفیدتر از این ادوات، در نظر گرفتن سه موضوع زیر ضروری است (زانگ و میلانوویچ، ۲۰۰۷):

۱-نوع ادوات مورد استفاده

۲-مقدار نامی ادوات

۳-بهترین محل نصب ادوات در سیستم

نصب ادوات FACTS در مکان‌های مختلف شبکه، مزایای متفاوتی دارد. برای تحقق اهداف مورد نظر، نوع مناسب ادوات، مکان آن‌ها و مقدار نامی آن‌ها باید به‌طور هم‌زمان تعیین شود. حل هم‌زمان سه مورد ذکر شده مسئله بسیار پیچیده و مشکل بهینه سازی را می‌طلبد که روش‌های بهینه‌سازی قدیمی ممکن است انتخاب مناسبی برای حل آن نباشند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵). روش‌های محاسبات تکاملی نظیر الگوریتم ژنتیک (GA) و... مکانیزم خوبی را برای حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده فراهم می‌کنند. به‌طور

1 - Wang et al.
2 - Vijayakumar & Kumudinidevi.

www.SID.ir

Archive of SID

کلی این الگوریتم‌ها بر اساس روند تکاملی و بیولوژیکی بشر (و گونه‌های دیگر) تهیه می‌شوند.

مطالعات فراوانی در زمینهٔ کاهش تعداد خطاها و تبعات ناشی از افت ولتاژ انجام گرفته است. برای مثال، می‌توان نصب ادوات بهبود بخش در شبکه و پیکره بندی مجدد شبکه را ذکر کرد (اندرسون[1]، ۱۹۹۵ ؛ ملهورن و دیویس[2]، ۱۹۹۸). برای تحلیل و بررسی افت ولتاژ روش‌های مختلفی از جمله (SARFI)[3] و (SIARFI)[4] وجود دارد، اما جدا از عملکرد فنی سیستم با یا بدون افت ولتاژ، مناسب است تا تأثیر افت ولتاژ را از نظر اقتصادی بررسی کنیم چون هزینه‌های خاموشی ناشی از افت ولتاژ در مراکزی نظیر بانک‌ها، مراکز مخابراتی و... می‌توانند میلیون‌ها دلار خسارت در بر داشته باشند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵).

برخی روش‌های ابتکاری و عملی برای بررسی افت ولتاژ شامل سه مرحله‌اند (میلانوویچ و کوپتا[5]، ۲۰۰۶):

- آنالیز خطا
- آنالیز افت ولتاژ
- آنالیز اقتصادی

که آنالیز اقتصادی هزینه‌های افت ولتاژ می‌تواند بر اساس اطلاعات نوع مصرف کنندگان (خانگی یا صنعتی) انجام شود.

در سال‌های اخیر با به‌وجود آمدن ادوات FACTS، بسیاری از مطالعات به سمت تأثیر این ادوات بر کارایی سیستم قدرت سوق پیدا کرده‌اند. تحقیقات قابل توجهی برای پیدا کردن مکان بهینه و پارامترهای بهینه ادوات FACTS به‌منظور بهبود پایداری سیستم و افزایش ظرفیت انتقال سیستم قدرت انجام شده‌اند، اما این تحقیقات، کم‌تر به بررسی بهبود افت ولتاژ به‌عنوان یکی از اهداف نصب ادوات FACTS پرداخته‌اند. در این مطالعات روش‌های متعددی برای جایابی ادوات FACTS معرفی شده‌اند، که در آن‌ها تأثیر نصب ادوات تنها بر روی باس‌های خاصی مدنظر قرار گرفته است. اما زمانی که ادوات FACTS به یک باس (خط) نصب می‌شوند، بهبود ولتاژ در قسمت زیادی از

1 - Anderson.
2 - Melhorn & Davis.
3- System Average Rms Frequency Index.
4- System Instantaneous Average Rms Frequency Index.
5 - Milanovic & Gupta.

www.SID.ir

Archive of SID

شبکه اتفاق می‌افتد. صرف نظر کردن از تأثیر ادوات روی باس‌های دیگر، منجر به ارزیابی نادرست اقتصادی سیستم خواهد شد. در نظر گرفتن تأثیر ادوات FACTS روی کل شبکه موجب می‌شود مؤثرترین راه حل برای یک سیستم واقعی و عملی به‌دست آید، که این راه حل می‌تواند توسط بهره‌برداران سیستم قدرت مورد استفاده قرار گیرد. ایدهٔ ارزیابی منفعت نصب ادوات برای کل شبکه به‌جای در نظر گرفتن تعدادی باس خاص، موجب شکل‌گیری این تحقیق شد.

۳- هزینه ادوات FACTS

هزینهٔ نصب کنترلرهای FACTS به فاکتورهای زیادی نظیر توان نامی تجهیز، نوع کنترلر و ولتاژ سیستم وابسته است. هزینهٔ یک کنترلر از دو قسمت تشکیل می‌شود:

-هزینهٔ نصب اولیه (سرمایه گذاری اولیه)

-مخارج عملیاتی (هزینه‌های متغیر)

هزینهٔ نصب اولیه شامل هزینهٔ خرید تجهیزات است، که به آن سرمایه‌گذاری اولیه نیز گفته می‌شود و در مطالعهٔ فوق هزینهٔ خرید تجهیزات ۲۱۴۳۲۰ میلیون ریال بوده است.

مخارج عملیاتی شامل هزینه سرویس و نگهداری کنترلر است که همان هزینه‌های متغیر نصب ادوات می‌باشد که به طول عمر تجهیزات بستگی دارد، به‌طوری‌که با افزایش سال‌های بهره‌برداری از تجهیزات این هزینه‌ها افزایش خواهد یافت. به‌طور معمول مخارج عملیاتی سالیانه ۵ تا ۱۰ درصد هزینه‌های اولیه در نظر گرفته می‌شود(باسکاران و پالانیسامی[1]، ۲۰۰۲). ارقام مربوط به هزینه‌های ادوات FACTS برای ارزیابی اقتصادی در ستون مربوط به هزینه‌ها درجدول (۵)، نشان داده شده است.

برای سرمایه‌گذاری در پروژهٔ نصب ادوات FACTS، می‌توان از مفهوم NPV (ارزش فعلی خالص) استفاده کرد. برای محاسبهٔ NPV، درآمدهای خالص حاصل از پروژه که با نرخ بهرهٔ r تنزیل شده‌اند، با استفاده از فرمول زیر در مقابل هزینه‌های پروژه قرار داده می‌شوند: (اسکونژاد، ۱۳۸۴)

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{TR_t - VC_t}{(1+r)^t} - C_o \qquad (1)$$

1 - Baskaran & Palanisamy.

www.SID.ir

Archive of SID

NPV : ارزش فعلی خالص

TR_t : مقدار کاهش در خسارات ناشی افت ولتاژ

VC_t : هزینه‌های متغیر ناشی از نصب ادوات FACTS

r : نرخ تنزیل

C_o : هزینهٔ ثابت اولیه

۴- بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

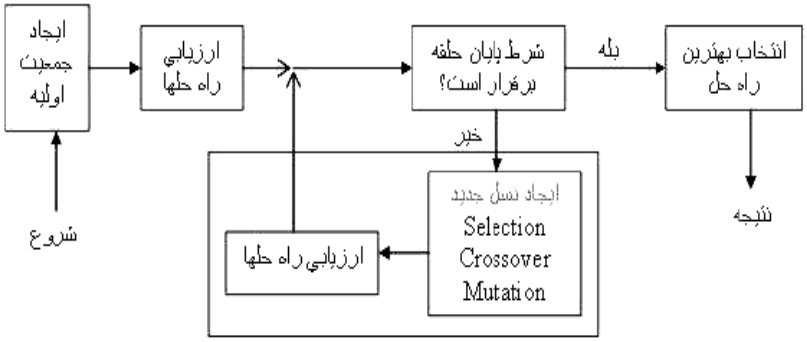
الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی احتمالاتی برای یافتن نقاط حداقل و حداکثر یک تابع هدف در یک فضای حالت تعریف شده است که اولین بار توسط جان هلند[1] در سال ۱۹۷۰ مطرح شد(باسکاران و پالانیسامی، ۲۰۰۲). این الگوریتم یکی از تکنیک‌های معمول در حل مسائل با رویکرد بهینه‌سازی است و ایدهٔ اولیهٔ آن بر مبنای تکامل در طبیعت است. بر خلاف روش‌های سنتی که حل مسئله را از یک نقطهٔ اولیه آغاز می‌کنند، الگوریتم ژنتیک حل مسئله را از چندین جواب اولیه شروع می‌کند و یک جستجوی نسل به نسل را شامل می‌شود و چون از تابع هدف استفاده می‌کند، بسیاری از مشکلات روش‌های سنتی نظیر تحلیلی و مشتق پذیر بودن را ندارد. روش حل الگوریتم ژنتیک به این صورت است که فضای مسئله به‌صورت تصادفی و مرحله به مرحله جستجو می‌شود و در حقیقت هدف جستجو، پیدا کردن جواب‌های بهتر در هر مرحله، نسبت به جواب‌های مرحله قبل است. یکی از ویژگی‌های شاخص الگوریتم ژنتیک، امکان اجرای موازی است که توانایی حل مسائل بسیار بزرگ و پیچیده را فراهم می‌آورد. روش کار این الگوریتم به این صورت است که در ابتدا پارامترهای فضای جستجو در قالب رشته‌هایی به نام کروموزوم شکل می‌گیرند. هر کروموزوم نشان دهندهٔ یک جواب برای مسئلهٔ مورد نظر است. کروموزوم‌ها در کنار هم مجموعه‌ای را تشکیل می‌دهند که جمعیت نامیده می‌شود و در شروع عملیات معمولاً عناصر جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند الگوریتم به‌صورت تکراری روی عناصر جمعیت دو عملگر تزویج[2] و جهش[3] را اعمال کرده و از یک جمعیت، جمعیت جدید را به‌وجود

1- Johan Holland.
2- Crossover.
3- Mutation.

www.SID.ir

Archive of SID

می‌آورد. معمولاً به جواب‌های یک جمعیت، نسل گفته می‌شود. در انتها و پس از تکرار متناهی، جواب‌های مورد نظر در نسل آخر تولید می‌شوند. واضح است که همهٔ جواب‌ها حتماً جواب بهینه نیستند. برای تعیین میزان بهینه بودن هر جواب از معیاری استفاده می‌شود که تابع هدف (برازندگی) نامیده می‌شود. در عمل تابع هدف به هر کروموزوم جمعیت در یک نسل، یک مقدار نسبت می‌دهد، که این مقدار، شایستگی (برازندگی) این جواب را نسبت به بقیهٔ جواب‌های همان نسل مشخص می‌کند. شکل کلی الگوریتم ژنتیک در شکل(۱) نشان داده شده است(باسکاران و پالانیسامی، ۲۰۰۲).



الف - جمعیت اولیه

مجموعه جواب‌های اولیه که حاوی اطلاعات متغیرهای بهینه‌سازی (مکان، نوع و ظرفیت نامی ادوات) هستند به‌صورت تصادفی انتخاب و به‌عنوان جمعیت اولیه در نظر گرفته می‌شوند. برای تعیین نوع ادوات، عدد ۱ برای STATCOM و عدد ۲، برای SVC استفاده می‌شود

ب - ارزیابی

برای ارزیابی جواب‌ها در هر نسل از تابع هدف معادلهٔ (۱) استفاده می‌شود. مقدار تابع هدف برای هر یک از افراد جمعیت، محاسبه و مقدار برازندگی هر فرد تعیین می‌شود. این مقدار برازندگی در تعیین احتمال انتخاب فرد برای تکثیر نسل بعدی اهمیت دارد.

ج - تکثیر

آن چه در تولید نسل بعدی مهم است، انتخاب مناسب والدین برای عمل تزویج است. در این مقاله از روش چرخ رولت برای انتخاب والدین استفاده می‌شود، سپس روی

www.SID.ir

Archive of SID

افراد منتخب عمل تزویج و جهش انجام می‌گیرد. طی عمل تزویج دو کروموزوم که به‌طور تصادفی انتخاب شده‌اند، از ژنی به‌صورت تصادفی شکسته شده و در هم ادغام می‌شوند. برای این‌که کروموزوم‌های ایجاد شده در روند یکنواخت قرار نگیرند، یک‌سری کروموزوم به‌صورت تصادفی انتخاب شده و ژن‌هایی از این کروموزوم‌ها نیز به‌طور تصادفی انتخاب شده و تغییر می‌یابند. عمل جهش تبدیل یک به صفر و یا صفر به یک در کدگذاری باینری است.

د- شرط توقف

الگوریتم ژنتیک زمانی پایان می‌یابد که یکی از شروط زیر برآورده شود(باسکاران و پالانیسامی، ۲۰۰۲):

۱-مقدار برازندگی برای تعداد معینی تکرار تغییر نکند.

۲-تعداد معینی نسل حاصل شود.

مشخصات الگوریتم ژنتیک مورد استفاده، در جدول (۱) آمده است. که این اطلاعات بر اساس معیارهای موجود برای الگوریتم ژنتیک تعیین شده‌اند (ویجاواکومار و کومودینیدوی، ۲۰۰۵).

احتمال تزویج	$۰/۱ \le p_c \le ۰/۹۵$
احتمال جهش	$۰/۰۱ \le p_m \le ۱$
شرط پایان	$۵۰ \le \text{stop criteria} \le ۱۰۰۰$
اندازهٔ جمعیت	$۱ \le \text{population size} \le ۱۰۰$

جدول ۱- مشخصات الگوریتم ژنتیک مورد استفاده

متغیر	مقدار
جمعیت	۳۰
شرط پایان	۱۰۰
احتمال جهش	۰/۰۵
احتمال تزویج	۰/۵
روش انتخاب	چرخ رولت

لازم به ذکر است شرط پایان، براساس تخمین بهینهٔ متغیرها است. هم‌چنین روش‌های انتخاب زیادی وجود دارند (در این‌جا از روش چرخ رولت استفاده شده است) که تأثیر چندانی روی جواب ندارند و تنها سرعت انجام محاسبات را تغییر خواهند داد.

www.SID.ir

Archive of SID

۵- ارزیابی اقتصادی نصب ادوات FACTS

در این بخش برای ارزیابی اقتصادی نصب ادوات FACTS، پس از محاسبهٔ درآمد ناخالص و گردش نقدی سالانهٔ پروژه، نسبت‌های B/C و IRR (به ترتیب نسبت منافع به هزینهٔ پروژه و نرخ بازده داخلی)، محاسبه شده‌اند.

یکی از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها، استفاده از نسبت منافع به هزینه (B/C) است(اسکونژاد، ۱۳۸۴). در این روش، ابتدا B (منافع) و C (هزینه) پروژه‌ها را باید در زمان فعلی محاسبه کرد. B، ارزش فعلی درآمدها بوده و C، ارزش فعلی هزینه‌ها است. برای محاسبه ارزش فعلی درآمدها و هزینه‌های پروژه، می‌بایست با استفاده از نسبت‌های مالی مقادیر درآمد و هزینه در سال‌های آینده را به ارزشی فعلی تبدیل کرد و در نهایت با دانستن B وC، نسبت B/C محاسبه می‌شود. دراین روش اگر $B/C > 1$ باشد طرح اقتصادی و اگر $B/C < 1$ باشد، طرح، غیر اقتصادی خواهد بود. رابطهٔ فوق را می‌توان به شکلی دیگر نیز بیان کرد، یعنی اگر B-C>0 باشد، طرح اقتصادی و اگر B-C<0 باشد طرح غیر اقتصادی خواهد بود. این روش علاوه بر بررسی اقتصادی طرح‌های سرمایه‌گذاری خصوصی، یک روش کاربردی و معروف در ارزیابی طرح‌های دولتی و عام‌المنفعه نیز محسوب می‌شود.

یکی دیگر از روش‌های ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها، محاسبهٔ نرخ بازدهی داخلی پروژه‌ها (IRR) است (اسکونژاد، ۱۳۸۴). محاسبهٔ نرخ بازدهی داخلی پروژه‌ها معمولاً با استفاده از دو روش زیر انجام می‌پذیرد:

۱ . ارزش فعلی درآمدها و هزینه‌ها

۲ . یکنواخت سالیانه

در روش ارزش فعلی درآمدها و هزینه‌ها، نرخ بازدهی داخلی از تساوی ارزش فعلی درآمدها و هزینه‌ها به‌دست می‌آید و در روش یکنواخت سالیانه، نرخ بازدهی داخلی، از تساوی درآمدهای سالیانه و هزینه‌های سالیانه به‌دست می‌آید. در این مقاله برای محاسبهٔ نرخ بازدهی داخلی ادوات، از روش اول استفاده شده است.

در انجام محاسبات اقتصادی فرض شده است که رقم هزینه و درآمد در هر دوره تغییر چندانی نداشته باشد به‌عبارت دیگر، روند افزایش قیمت در دو بخش هزینه‌ها و درآمدها یکسان فرض شده است. ارقام به‌کار گرفته شده برای آنالیز اقتصادی بر حسب

www.SID.ir

Archive of SID

پوندا می‌باشندکه برای تبدیل هزینه‌ها و درآمدها از پوند به ریال از متوسط قیمت ریالی پوند در سال ۱۳۸۶ استفاده شده است[۱].

۶- نتایج

شبیه سازی بر روی سیستم ۲۹۵ شینه GDS انجام شده و نتایج حاصل از آنالیز اقتصادی با استفاده از تابع هدف ارزش فعلی خالص انجام پذیرفته است. مکان بهینه، نوع و ظرفیت نامی ادوات FACTS که با استفاده از الگوریتم ژنتیک بدست آمده‌اند، در جدول (۲) نشان داده شده است.

خسارت‌های ناشی از افت ولتاژ قبل و بعد از نصب ادوات به ترتیب در جداول (۳) و (۴) ذکر شده است. داده‌های جدول نشان می‌دهد که با نصب ادوات، خسارت‌های افت ولتاژ کاهش یافته است.

جدول ۲ - نتایج جایابی بااستفاده از الگوریتم ژنتیک

بلس	نوع تجهیز	ظرفیت(MVAR)
۸۷	SVC	۱۵
۲۳۲	STATCOM	۴۰
۱۹۲	SVC	۹۵
۱۳۶	STATCOM	۱۰
۱۴۸	STATCOM	۵۵
۸۰	SVC	۶۰

جدول ۳-خسارت‌های ناشی از افت ولتاژ قبل از نصب ادوات

	میزان خسارت (میلیون ریال در سال)		
	ماکزیمم	متوسط	مینیمم
تجهیزات	۵۹۵۷۷۲	۴۴۸۹۴۴	۲۸۲۳۷۶

۱ - متوسط نرخ پوند انگلستان در سال ۱۳۸۶ برابر ۱۸۷۹۲ ریال بوده است.منبع : ماهنامهٔ اقتصادی و مالی بین‌الملل اقتصاد ایران، (۱۳۸۷)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴ - خسارت‌های ناشی از افت ولتاژ بعد از نصب ادوات

	میزان خسارت (میلیون ریال در سال)		
	ماکزیمم	متوسط	مینیمم
تجهیزات	۴۴۴۶۲۰	۳۳۴۲۶۴	۲۰۸۸۶۸

در جدول (۵)، گردش نقدی سالانهٔ نصب ادوات با فرض n = ۵ (پنج سال) محاسبه شده است. در ستون دوم جدول (۵)، هزینهٔ نصب ادوات آمده است. هزینهٔ مربوط به سال صفر در ستون فوق، همان هزینه‌های ثابت ادوات بوده که رقمی معادل ۲۱۴۳۲۰ میلیون ریال است. هزینه‌های مربوط به سال‌های بعدی، هزینه‌های جاری و متغیر نصب ادوات بوده که معادل ۵ درصد هزینه‌های ثابت در نظر گرفته شده‌است. در ستون سوم جدول (۵)، درآمد ناخالص ذکر شده است. در سال نصب ادوات (معادل سال صفر)، تنها هزینه‌های سرمایه‌گذاری را خواهیم داشت و منافعی از پروژه حاصل نخواهد شد و به همین دلیل درآمد ناخالص نصب ادوات در این سال صفر بوده است. درسال‌های بعدی درآمد ناخالص معادل ۱۱۴۶۸۰ میلیون ریال بوده که از تفاوت متوسط هزینهٔ ناشی از افت ولتاژ قبل از نصب ادوات (۴۴۸۹۴۴ میلیون ریال) و متوسط هزینهٔ ناشی از افت ولتاژ بعد از نصب ادوات (۳۳۴۲۶۴ میلیون ریال) به‌دست آمده است.

در ستون آخر جدول (۵) گردش نقدی خالص نصب ادوات آمده است. داده‌های مربوط به این ستون از تفاضل درآمد ناخالص و هزینه‌ها در هر سال به‌دست آمده‌اند. داده‌های ستون فوق نشان می‌دهند که تنها در سال صفر به‌دلیل نداشتن درآمد حاصل از نصب ادوات، گردش نقدی خالص منفی شده است.

جدول ۵ - گردش نقدی سالانهٔ نصب ادوات (میلیون ریال)

سال	هزینه‌ها	درآمد ناخالص	گردش نقدی خالص
۰	۲۱۴۳۲۰	۰	-۲۱۴۳۲۰
۱	۱۰۷۱۶	۱۱۴۶۸۰	۱۰۳۹۶۴
۲	۱۰۷۱۶	۱۱۴۶۸۰	۱۰۳۹۶۴
۳	۱۰۷۱۶	۱۱۴۶۸۰	۱۰۳۹۶۴
۴	۱۰۷۱۶	۱۱۴۶۸۰	۱۰۳۹۶۴
۵	۱۰۷۱۶	۱۱۴۶۸۰	۱۰۳۹۶۴

www.SID.ir

Archive of SID

پس از انجام محاسبات مربوط به هزینه‌ها، درآمد ناخالص و گردش نقدی خالص، ارزش فعلی هزینه‌ها و درآمدهای ادوات برای ارزیابی اقتصادی پروژه محاسبه شده‌اند. در محاسبهٔ ارزش فعلی هزینه‌ها از ارقام ستون اول جدول (۵) استفاده شده و به‌جز هزینهٔ ثابت که ارزشی فعلی دارد، سایر هزینه‌های جاری و متغیر با استفاده از نسبت‌های مالی به ارزش فعلی تبدیل شدند. ارزش فعلی هزینه‌ها معادل ۳۲۲۰۱۵/۸ میلیون ریال به‌دست آمده است. در محاسبهٔ ارزش فعلی درآمدها، ارقام ستون دوم جدول (۵) مورد استفاده قرار گرفته است. درآمد ناخالص در تمامی سال‌ها با استفاده از نسبت‌های مالی مربوطه به ارزش فعلی تبدیل شده و ارزش فعلی درآمدها معادل ۱۱۵۲۱۹۰ میلیون ریال به‌دست آمده است.

رابطهٔ (۱) :

ارزش فعلی هزینه‌ها = 214320+ 10716 (P/A,20%,1) + 10716 (P/A,20%,2) +

10716 (P/A,20%,3) + 10716 (P/A,20%,4) + 10716(P/A,20%,5) =214320 +

10716(0.833 + 1.528+2.107 + 2.59+2.99) = =322015.8

رابطهٔ (۲) :

ارزش فعلی درآمدها = 114680(P/A,20%,1) + 114680(P/A,20%,2) +

114680(P/A,20%,3) + 114680(P/A,20%,4) + 114680(P/A,20%,5)=114680

(10.047) = 1152190

در محاسبات فوق P همان ارزش فعلی بوده و A نیز هزینه‌ها و درآمدهای یکسان را نشان می‌دهد. در رابطهٔ (۱)، P ارزش فعلی هزینه‌ها و A نیز هزینه‌های یکسان (۱۰۷۱۶ میلیون ریال) بوده و در رابطهٔ (۲)، P ارزش فعلی درآمدها و A نیز درآمدهای یکسان (۱۱۴۶۸۰میلیون ریال) است و نسبت P/A به‌کار گرفته شده، مجهول بودن متغیر صورت کسر، یعنی ارزش فعلی (P) و معلوم بودن متغیر مخرج کسر، یعنی هزینه‌ها و درآمدهای یکسان (A) را نشان می‌دهد. مقادیر (P/A,20%,1) ,….., (P/A,20%,5) از جدول فاکتورها استخراج شده که مقادیر آن در محاسبات آورده شده است.

پس از محاسبهٔ ارزش فعلی هزینه‌ها و درآمدها، نسبت منافع به هزینه محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهند که این نسبت برابر ۳/۵۸ است و بزرگ‌تر بودن آن از یک، نشان از اقتصادی بودن نصب ادوات دارد. تفسیر دیگر از نسبت فوق نشان می‌دهد که

www.SID.ir

Archive of SID

به‌ازای هر یک درصد افزایش هزینهٔ نصب ادوات FACTS ، ۳/۵۸ درصد به سود اقتصادی اضافه خواهد شد.

B/C= ارزش فعلی درآمدها / ارزش فعلی هزینه‌ها = 3/58

پس از ارزیابی اقتصادی نصب ادوات به روش B/C، حال می‌توان نرخ بازدهی داخلی (IRR) پروژهٔ فوق را از تساوی ارزش فعلی درآمدها و هزینه‌ها محاسبه کرد. نتایج محاسبهٔ نرخ بازدهی داخلی نصب ادوات نشان می‌دهد که این نرخ معادل ۳۹/۲۱ درصد بوده است.

$$103964(P/A,i\%,5) = 214320$$

$$(P/A,i\%,5) = 2.06$$

جدول فاکتورها نشان می‌دهد که (P/A,i%,5) در نرخ سود ۳۵ درصد برابر ۲/۲۲ و در نرخ سود ۴۰ درصد برابر ۲/۰۳ بوده است. حال با توجه به اینکه عدد به‌دست آمده از محاسبات بالا (۲/۰۶) بین نرخ سود ۳۵ درصد و ۴۰ درصد است، لذا می‌توان با استفاده از درون‌یابی خطی که نوعی تناسب است، مقدار نرخ بازدهی نصب ادوات را محاسبه کرد:

$$IRR = 39.21\%$$

نرخ بازدهی داخلی پروژه ۳۹/۲۱ درصد در سال به‌دست آمده است. مقدار فوق نشان‌دهندهٔ نرخ بازگشت سرمایهٔ پروژه است. به عبارتی سرمایهٔ اولیه ۲۱۴۳۲۰ میلیون ریال، سالانه ۸۴۰۳۵ میلیون ریال سودآوری خواهد داشت، ضمن آن‌که بیش‌تر بودن نرخ بازدهی به‌دست آمده از حداکثر نرخ سود بانکی نیز اقتصادی بودن پروژهٔ نصب ادوات FACTS را تأیید می‌کند.

۷- نتیجه‌گیری

یکی از مسائل مهم در عرضهٔ برق، حفظ و بهبود کیفیت برق تولیدی است. افت ولتاژ یکی از مواردی است که منجر به کاهش کیفیت برق خواهد شد و خساراتی را برای مصرف‌کنندگان در پی خواهد داشت. به منظور استفادهٔ بهینه از ادوات FACTS، نیاز است مکان بهینهٔ آن‌ها در شبکه تعیین شود. مکان، نوع و ظرفیت نامی ادوات FACTS به‌عنوان پارامترهای بهینه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند جایابی برای دو کنترلر SVC و STATCOM انجام گرفته و روش پیشنهادی بر روی شبکهٔ ۲۹۵ باس GDS

www.SID.ir

Archive of SID

پیاده شده است. جایابی بهینه می‌تواند با اهداف مختلفی انجام پذیرد. در این مقاله جایابی بهینه با هدف حداقل کردن خسارات ناشی از افت ولتاژ و حداکثر کردن ارزش فعلی خالص انجام شده است.

نتایج نشان می‌دهد که با نصب ادوات FACTS در هر سال به‌طور متوسط ۱۱۴۶۸۰ میلیون ریال، خسارات ناشی از افت ولتاژ کاهش می‌یابد. لذا نصب این ادوات علاوه بر کاهش خسارات ناشی از افت ولتاژ، به عنوان راه‌کاری در جهت بهبود کیفیت برق خواهد بود. گردش نقدی خالص پروژهٔ سالانه ۱۰۳۹۶۴ میلیون ریال بوده که نشان از گردش نقدی خالص بالای پروژه در هر سال دارد. مقدار محاسبه شده برای B/C معادل ۳/۵۸ بوده است، که توجیه‌پذیری اقتصادی نصب ادوات را نشان می‌دهد. هم‌چنین نرخ بازدهی داخلی نصب ادوات تقریباً ۴۰ درصد بوده که از حداکثر نرخ سود بانکی بیش‌تر است که نشان از توجیه اقتصادی طرح مذکور دارد. بنابراین با سرمایه‌گذاری بر پروژه‌هایی مانند نصب ادوات FACTS، هم موقعیت صنعت برق کشور بهبود می‌یابد و هم به افزایش رفاه مصرف‌کنندگان منجر خواهد شد.

فهرست منابع

اسکونژاد م، (۱۳۸۴) "اقتصاد مهندسی"، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ بیست و دوم، ص ۱۶۷-۱۷۲.

ماهنامهٔ اقتصادی و مالی بین‌الملل اقتصاد ایران، (۱۳۸۷)، سال دهم، شمارهٔ ۱۱۵، ص ۸۱.

Anderson P. M,(1995) “Faulted Power Systems” IEEE PRESS

Baskaran J., Dr. Palanisamy V.(2002) “Genetic Algorithm applied to Optimal Location of FACTS Device in a Power System Network considering economic saving cost”, Academic Open Internet Journal, pp. 1057-1062.

Melhorn C. J and Davis T. D.(1998) “Voltage sags: Their Impact on Utility and Industrial Customers ”,IEEE Transaction on industry applications, vol. 34.

Milanovic J.V and Gupta C. P.(2006) "Probabilistic assessment of financial losses due to interruption and voltage sags - part I: practical implementation”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 21, pp. 918-924.

www.SID.ir

Archive of SID

Milanovic J.V and Gupta C. P.(2006) "Probabilistic assessment of financial losses due to interruption and voltage sags - part II: practical implementation", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 21, pp. 925-932.

Vijayakumar K., Dr. Kumudinidevi R. P.(2005-2007) "A new method for optimal location of FACTS controllers using genetic algorithm" Journal of Theoretical and Applied Information Technology.

Wang J, Chen S and Lie T.T.(2005) "System voltage sag performance

estimation ", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20,

Zhang Yan, Milanovic, J.V (2007) "Voltage sag cost reduction

with optimally placed FACTS devices", Electrical power quality and utilization, IEEE conference on, pp.1 – 6.

www.SID.ir