یک الگوریتم جدید جهت کلیدزنی خازن‌های شبکهٔ توزیع

محمد اسماعیل همدانی گلشن
hamedani@cc.iut.ac.ir

سید یاسر درخشنده قهفرخی
y_derakhshandeh@ec.iut.ac.ir

دانشکده برق و کامپیوتر
دانشگاه صنعتی اصفهان

کلید واژه: الگوریتم جستجوی ممنوع، کاهش تلفات، پروفیل ولتاژ، کلید زنی خازن

چکیده

در این مقاله یک استراتژی جدید جهت کنترل و بهره‌برداری از سیستم‌های توزیع ارائه شده است. هدف عبارت خواهد بود از کاهش همزمان میزان تلفات در سیستم توزیع و کاهش انحراف ولتاژ از میزان ۱p.u. در هر یک از باسهای سیستم.

جهت کاهش تعداد کلیدزنی خازن‌ها، برخی قیود مد نظر قرار گرفته است. مقایسهٔ بین روشهای عمومی موجود و روش ارائه شده، مبین عملی بودن و موثر بودن این روش می‌باشد.

۱- مقدمه

یکی از اهداف اساسی در بهره‌برداری از سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی، کاهش تلفات توان و انرژی و بدست آوردن پروفیل ولتاژ قابل قبول می‌باشد. یکی از راههای رسیدن به این اهداف، کنترل توان راکتیو است.

با توجه به اینکه بطور معمول علاوه بر خازن‌های ثابت، از خازن‌های متغیر نیز در سیستم‌های توزیع استفاده می‌شود، می‌توان وارد یا خارج شدن خازن ها را برای سطوح بار مختلف برنامه‌ریزی نمود و به یک کنترل توان راکتیو هماهنگ دست یافت. به این منظور در این مقاله یک استراتژی کنترل ولتاژ - توان راکتیو برای تعیین کلیدزنی بهینهٔ خازن‌های متغیر موجود در سیستم توزیع برای سطوح مختلف بار در دورهٔ زمانی یک شبانه روز معرفی می‌شود. به این ترتیب مجموع تلفات انرژی در یک دورهٔ زمانی و همچنین انحراف ولتاژ باس‌های سیستم از ولتاژ نامی حداقل می شود. قید مهمِ مسئله، تعداد عملیات کلید زنی در دوره زمانی مورد مطالعه است. مسئلهٔ مورد نظر در این مقاله از جمله مسائل کنترل تنظیم نابهنگام است . تاکنون برای حل اینگونه مسائل از برنامه‌ریزی پویا استفاده شده است[۱]. عیب اصلی این روش محاسبات فراوانی است که نیاز به زمان بسیار طولانی دارد؛ بخصوص در مسئله مورد نظر ما که شامل متغیرهای فراوان و فضای جستجوی بزرگی می‌باشد. برای کاهش میزان محاسبات از ترکیب برنامه ریزی پویا و منطق فازی نیز استفاده شده است[۲]. با توجه به اینکه مسئله بهینه‌سازی مورد نظر یک مسئله غیر خطی با متغیرهای گسسته است، استفاده از روش‌های تحلیلی نمی‌تواند موثر باشد. به این دلیل از روش‌های ابتکاری همچون الگوریتم ژنتیک برای حل آن استفاده شده است[۳].

۲- فرمول بندی مسئله

تابع هدف مسئله بصورت رابطهٔ (۱) تعریف می‌شود.

$$F = \alpha \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j \\ Y_{ij} \neq 0}}^{i=30} \sum_{j=1}^{j=30} P_{loss_{ij}} + \beta \sum_{k=1}^{k=30} \left| V_k - 1 \right| \qquad (۱)$$

تابع هدف شامل مجموع وزندار تلفات انرژی سیستم در دوره برنامه‌ریزی و انحراف ولتاژ باس‌های سیستم از مقدار نامی است. در رابطهٔ (۱) ، $P_{loss_{ij}}$ بیانگر تلفات خط واصل بین شین iاُم و j اُم (در صورت وجود) و $\left|V_k - 1\right|$ ، شاخص انحراف ولتاژ باس k اُم از میزان ۱p.u. می‌باشد.

ضرایب αو β ، ضرایب وزنی تابع هدف بوده که با توجه به میزان اهمیت هر یک از مولفه‌های تابع هدف و نیز بر مبنای تجربهٔ بهره‌بردار معین می‌گردند. در این مقاله مقادیر αو β به ترتیب ۱ و ۰/۱ در نظر گرفته شده‌اند.

قید مهم، تعداد کلیدزنی خازن‌ها در طول ۲۴ ساعت می‌باشد. در این مسئله تعداد کلیدزنی های مجاز برای هر خازن متغیر نصب شده روی فیدر در طی ۲۴ ساعت ،۲ بار و برای خازنهای نصب شده در پست نیز تنها ۶ مورد در نظر گرفته شده است.

$$\begin{aligned} NS_f &\le 2 \\ NS_s &\le 6 \end{aligned} \qquad (۲)$$

که در رابطهٔ (۲)، NS_f و NS_sبترتیب، تعداد مجاز کلید زنی خازنهای موجود در طول فیدر و خازنهای نصب شده در پست می‌باشند.

۳- الگوریتم جستجوی ممنوع

مبنای حل مسالهٔ بهینه سازی با الگوریتم جستجوی ممنوع آن است که با فرض یک نقطهٔ اولیه در فضای حل به عنوان جواب اولیه، با انجام پخش بار، متغیرهای حالت سیستم محاسبه شده و مقدار تابع هدف بدست می آید. پس از آن، برای جواب اولیه به تعداد مناسبی (بسته به تعداد متغیرهای کنترلی) نقاط همسایگی تشکیل می‌شود. تشکیل همسایگی با حرکت از جواب فعلی به جوابهای ممکن اطراف آن انجام می‌شود. مقدار تابع هدف متناظر با این همسایگی‌ها محاسبه شده و نقطهٔ همسایگی که دارای کمترین میزان تابع هدف باشد به عنوان جواب بعدی انتخاب می‌شود. این عمل تا زمانی که مقدار تابع هدف به سمت کمتر شدن پیش رود ادامه می یابد [۴].

۳-۱- لیست ممنوع

برای جلوگیری از حرکت در مسیرهای حلقوی و بازگشت به جوابهای قبلی، جوابی که در هر مرحله بدست می‌آید را در لیستی به عنوان لیست ممنوع قرار می‌دهیم و اگر جواب بدست آمده در هر مرحله در این لیست قرار داشته باشد، قابل قبول نبوده و عضو دیگری از مجموعهٔ همسایگی‌ها که کوچکترین تابع هدف را داشته باشد، بعنوان نقطهٔ شروع بعدی انتخاب می گردد[۵].

۳-۲- حافظهٔ میان مدت

برای اینکه حرکت در یک مسیر به صورت تصادفی نبوده و همواره به سمت جوابهای بهتر باشد، انتخاب همسایگی‌های یک نقطه باید با استراتژی خاصی انجام شود. به این منظور باید خصوصیات جوابهای خوب بدست آمده در هر مرحله را در پیدا کردن همسایگی‌های جدید تاثیر داد.

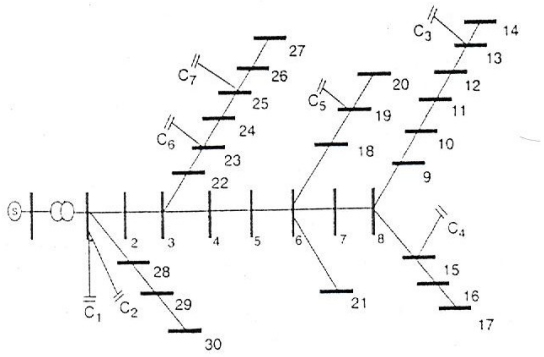
در طی فرآیند تکرار، در صورتی‌که در چند جواب متوالی یکی از عناصر بردار متغیرهای کنترلی تغییر چندانی نکند می‌توان آنرا تقریبا ثابت فرض کرد و همسایگی‌های بعدی را با اعمال تغییرات در سایر متغیرهای کنترلی بدست آورد. به این ترتیب حرکت در فضای جستجو به گونه‌ای انجام می‌شود که مسیر جستجو به سمت بهترین جواب هدایت شود. بهره گیری از حافظهٔ میان مدت در راستای برآورده کردن هدف مذکور می‌باشد[۵]و[۶].

۳-۳- حافظهٔ بلند مدت

همسایگی‌های هر جواب در هر مرحله با استفاده از جوابهای مراحل قبل به نحوی تعیین می‌شوند که حتی الامکان مسیر حرکت به سمت بهترین جواب ادامه یابد. با تکرار عملیات جستجو به جایی می رسیم که حرکتها در جهت کاهش مقدار تابع هدف نخواهند بود. در این موارد جهت ادامه فرایند، باید در فضای جستجو پرش انجام شود و عملیات جستجو از نقطهٔ دیگری که تاکنون بررسی نشده است آغاز شود. از حافظه بلند به این منظور استفاده می شود [۵] و [۶].

۴- معرفی شبکه مورد مطالعه

سیستم توزیع شکل (۱) جهت کاربرد روش پیشنهادی در نظر گرفته شده است. این سیستم در مراجع مختلف همچون [۱]، [۲]، [۳] و [۷] مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل (۱) : دیاگرام تک خطی شبکه مورد مطالعه

۵- پیاده سازی الگوریتم TS جهت بهینه‌سازی شبکهٔ مورد مطالعه

الگوریتم TS با انتخاب یک نقطهٔ اولیهٔ شدنی آغاز می‌شود. این نقطهٔ شدنی عبارت است از ماتریسی ۲۴×۷ که شامل مقادیر صفر و یک بوده و وضعیت قطع یا وصل خازنهای سیستم را در طول ۲۴ ساعت آینده نشان می‌دهد . جواب انتخابی می‌بایست قیود حاکم بر مسئله را ارضا نماید. در ماتریس مذکور مقدار $C_{ij}=0$ بیانگر قطع بودن خازن i ام در ساعت j ام و مقدار $C_{ij}=1$ مبین وصل بودن خازن مذکور در ساعت j ام می‌باشد.

ساده ترین روش تعیین ماتریس آغازین، استفاده از تابع تولید اعداد تصادفی و تشکیل این ماتریس بصورت اتفاقی از اعداد صفر و یک می‌باشد، به نحوی که قیود حاکم بر مسئله ارضا گردد. روش دیگر آن است که تابع هدف برای تعداد زیادی ماتریس اتفاقی مقید به قیود حاکم بر مسئله تشکیل و از بین ماتریس‌های مذکور، دو ماتریسی که تابع هدف کوچکتری دارند جهت گامهای بعد انتخاب گردند.در این مقاله جهت هدفمند کردن انتخاب نقطهٔ آغازین از روش دوم بهره گرفته شد.

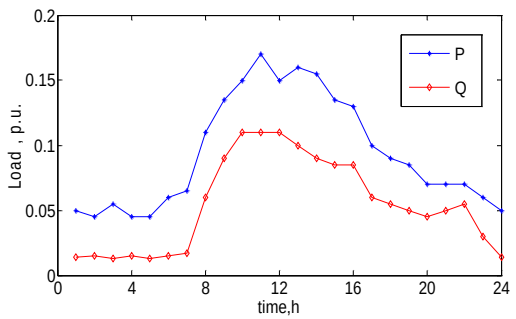
نحوهٔ تعیین همسایگی در گام iاُم نیز به این صورت خواهد بود که با مقایسه بهترین جواب در گام $i-1$اُم و بهترین جواب در گام $i-2$اُم درایه‌های یکسان و غیر یکسان در جدول (۱) اطلاعات مربوط به خازن‌ها آورده شده است. خازنهای ۱ و ۲ در پست و سایر خازنها در طول فیدرهای توزیع نصب گردیده اند. فرض شده است ۵۰٪ از بارهای هر باس توان ثابت و ۵۰٪ از بارها امپدانس ثابت باشند.

ماتریس‌های متناظر مشخص می‌گردند. با توجه به ماهیت روش TS ، نتیجه‌ای که از این مقایسه حاصل می‌گردد آن است که درایه‌هایی که در این دو گام تغییر کرده‌اند نقش بیشتری در کاهش تابع هدف برعهده دارند . لذا با ثابت نگه داشتن درایه‌های یکسان، همسایگی‌های بعدی را تشکیل می‌دهیم. جهت تشکیل همسایگی‌های نقطهٔ بهینه در گام iام، درایه‌های غیر یکسان بصورت تصادفی، از اعداد صفر و یک پر شده و قیود حاکم بر مسئله بررسی می‌گردند؛ تا به این طریق تعداد مشخصی همسایگی (در این مقاله ۲۰ همسایگی) حاصل شود. مجددا تابع هدف را برای همسایگی‌های مذکور تشکیل و بهترین همسایگی معین می‌گردد. در هر مرحله با توجه به لیست ممنوع، کنترل می‌گردد که ماتریس حاصله جهت گام بعدی، در لیست ممنوع وجود نداشته باشد، در غیر اینصورت ماتریس دیگری باید جایگزین گردد. همچنین جهت پرهیز از همگرا شدن به نقطهٔ بهینه محلی، دراین مقاله پس از آنکه تابع هدف تغییر چندانی درهر گام نداشت، پرش صورت می‌گیرد. دراین پرش نیز باید توجه شود که به ماتریس‌های آغازین گامهای قبلی پرش صورت نگیرد.

۶- نتایج

منحنی بار شبانه‌روزی سیستم توزیع معرفی شده در بخش ۴، را مطابق شکل (۲) در نظر بگیرید.

با بکارگیری الگوریتم TS برای حل مسئلهٔ بهینه‌سازی برنامه کلیدزنی خازن ها برای دوره ۲۴ ساعت مطابق با جدول (۲) حاصل می‌شود.



شکل (۲) : منحنی بار شبانه روزی سیستم توزیع شکل ۱

جدول ۱: اطلاعات خازن های نصب شده در شبکه

	$C_۱$	$C_۲$	$C_۳$	$C_۴$	$C_۵$	$C_۶$	$C_۷$
باسِ محل قرارگرفتن خازن	۱	۱	۱۳	۱۵	۱۹	۲۳	۲۵
میزان خازن (KVar)	۹۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۳۰۰	۹۰۰	۹۰۰

جدول (۲) نشان می‌دهد که لازم است خازنهای نصب شده در پست، یعنی $C_۱$ و $C_۲$، در طول ۲۴ساعت، ۴ بار قطع و وصل شوند و از سوی دیگر خازن $C_۳$ تنها یک بار در طول ۲۴ ساعت تغییر وضعیت می‌دهد. سایر خازن‌ها نیز با توجه به قید در نظر گرفته شده برای آنها ، در ۲۴ ساعت تنها دو بار کلیدزنی می‌شوند. به منظور بررسی عملکرد الگوریتم استفاده شده، در شکل‌های (۳) ، (۴) و (۵) مقایسه بین نتایج حاصله از تکنیک ارائه شده با حالت «عدم نصب خازن در سیستم» و حالت «کلیدزنی خازن ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA)» صورت گرفته است.

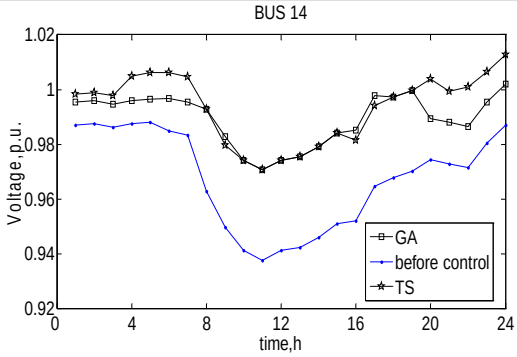
شکل (۳) و (۴) ولتاژ باس‌های ۱۴ و ۱۷ سیستم را که پُر مشکل‌ترین باس‌ها از حیث اندازه ولتاژ می‌باشند را در طول ۲۴ ساعت نشان می‌دهد.

همچنین شکل (۵) میزان تلفات انرژی در هر ساعت برای هر یک از سه حالت «عدم نصب خازن در سیستم» ، «کلیدزنی خازن ها بر مبنای الگوریتم ژنتیک» و «کلیدزنی خازن ها بر مبنای TS» را نشان می‌دهد.

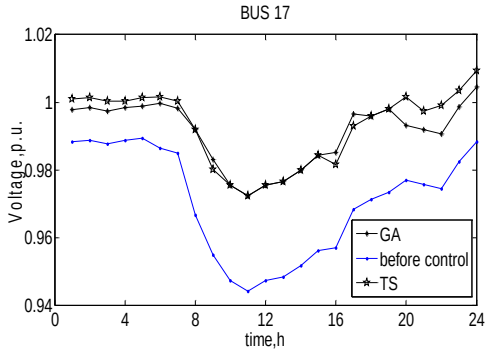
در جدول (۳)، مقادیر تابع هدف برای هر یک از سه حالت مذکور تشکیل شده است. مشاهده می‌شود که با استفاده از الگوریتم TS، تابع هدف نسبت به حالت الگوریتم ژنتیک کاهش چشمگیری یافته‌است.در این جدول، مقادیر مولفه‌های مختلف تابع هدف نیز مقایسه شده‌اند. مشاهده می شود که الگوریتم TS برای کاهش انحراف ولتاژها از .p.u۱ و کاهش تلفات سیستم نقش بیشتری دارد.

جدول (۲): برنامه کلیدزنی خازن‌ها جهت ۲۴ ساعت آینده

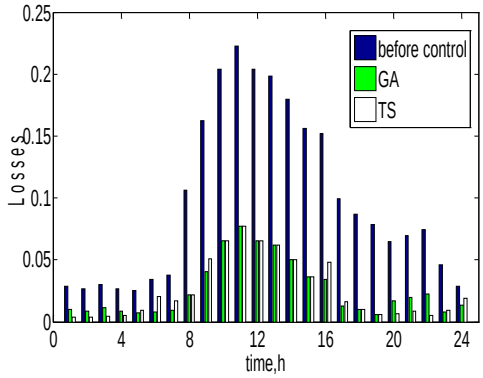
ساعت	$C_۱$	$C_۲$	$C_۳$	$C_۴$	$C_۵$	$C_۶$	$C_۷$
۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰
۲	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰
۳	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰
۴	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰
۵	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰
۶	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱
۷	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱
۸	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱
۹	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱
۱۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۵	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۶	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱
۱۷	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱
۱۸	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱
۱۹	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱
۲۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱
۲۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱
۲۲	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱
۲۳	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰
۲۴	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰



شکل (۳) : ولتاژ باس ۱۴



شکل (۴) : ولتاژ باس ۱۷



شکل (۵) : مقایسه بین میزان تلفات انرژی در هر ساعت

۷- بحث و نتیجه گیری

دراین مقاله یک روش جدید برای برنامه‌ریزی شبانه‌روزی کلیدزنی خازن‌های نصب شده در شبکه‌های توزیع ارائه گردید. این برنامه‌ریزی با استفاده از الگوریتم TS اجرا شد. . تابع هدف شامل کاهش هم‌زمان تلفات سیستم و انحراف ولتاژ باسها از p.u.۱ است. به علاوه قیود تعداد کلیدزنی مجاز برای انواع خازن ها در نظر گرفته شده است.

به این ترتیب یک مسئله کنترل توان هماهنگ برای یک دورهٔ زمانی ۲۴ ساعته بر اساس منحنی بار سیستم حل شد.

جدول (۳): مقایسهٔ روشهای مختلف حل مسئله

	قبل از کنترل سیستم	حل مسئله بهینه سازی با استفاده ازالگوریتم ژنتیک	حل مسئله بهینه سازی با استفاده ازالگوریتم TS
اندازه تابع هدف	۲,۳۴۴۸	۰,۶۳۹۶	۰,۶۲۰۱
معیار عدول ولتاژ از pu ۱	۱۴,۱۸۰۷	۴,۵۰۹۴	۴,۳۴۶۶
معیار تلفات سیستم	۰,۹۲۶۷	۰,۱۸۸۷	۰,۱۸۵۵

۸- مراجع

[۱] Lu. F, and Hsu, Y, "*Reactive power/voltage control in a distribution substation using dynamic programming*" , IEE Proc., Genene, Transm, Distrib, (۶), pp.۶۳۹-۶۴۵. ۱۹۹۵,

[۲] Li.Y,. and Qiu, X , "*Optimal reactive power and voltage control for radial distribution system*" , proc, IEEE Power Engineering Society meeting , seattle, WA, Vol, ۱ , pp, ۸۵-۹۰, July ۲۰۰۰.

[۳] Z. Hu, X. Wang, H. Chen and A. Taylor "*Volt/Var control in distribution systems using a time-interval based approach*" , IEEE Power Engineering Society General Meeting, Vol. ۲, pp. ۱۵۹۷-۱۶۰۲, Jun. ۲۰۰۴.

[۴] Glover F., " *Tabu Search Part I*" , ORSA J. on computing, vol. ۱, no. ۳, ۱۹۸۹.

[۵] عارفی‌فر، س. ع، *تعیین محل و مقدار تولیدات توزیع شده در سیستم های توزیع*، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، رساله کارشناسی ارشد، ۱۳۸۳.

[۶] شاهوردی،م. ا، *کنترل اضطراری و تصحیحی هماهنگ شده مبتنی بر مدل دینامیکی سیستم برای جلوگیری از ناپایداری ولتاژ*، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، رساله کارشناسی ارشد، ۱۳۸۴.

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.