

مکان‌یابی بهینه DSTATCOMها و DGها به منظور کاهش تلفات و افزایش قابلیت بارپذیری

حسین کرمی پزانی^۱، دانشجوی دکتری؛ بهروز ذاکر^۲، دانشجوی دکتری؛ میلاد نصیری^۳، دانشجوی کارشناسی ارشد؛ هادی طاریمراد^۴، دانشجوی دکتری؛ گئورگ قره‌پتیان^۵، استاد

۱، ۲، ۳، ۴ و ۵- دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران - ایران -

h.karami@aut.ac.ir¹, zaker.behrooz@aut.ac.ir², milad.nasiri@aut.ac.ir³, tarimoradi@gmail.com⁴, grptian@aut.ac.ir⁵

چکیده: امروزه به دلیل کاهش منابع سوخت فسیلی و همچنین افزایش آلاینده‌های محیطی، استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه‌های قدرت افزایش یافته است. از طرف دیگر افزایش تقاضای بار موجب بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع فعال، نزدیک به محدودیت‌های آن نظیر توان عبوری از خطوط می‌شود. این امر سبب شده است تا علاوه بر استفاده از منابع تولید پراکنده، از عناصر^۱ DFACTS مانند^۲ DSTATCOM نیز استفاده شود. مکان نصب منابع تولید پراکنده و DSTATCOM بر عواملی چون تلفات و قابلیت بارپذیری شبکه، اثرگذار است. از این رو اگر مکان نصب یا قرارگیری این عناصر در شبکه، بهینه انتخاب نشود، ممکن است موجب اثرات نامطلوبی همچون افزایش تلفات شود. در این مقاله، به منظور کاهش و یا از بین بردن اثرات منفی اشاره شده، یک تابع هدف جدید ارائه شده تا بتوان به وسیله مینیمم کردن مقدار آن توسط الگوریتم ژنتیک، مکان‌های مناسب برای نصب DGها^۳ و DSTATCOMها را پیدا کرد. تابع هدف ارائه شده برای بهبود قابلیت بارپذیری شبکه و کاهش تلفات است. این روش جدید در دو شبکه ۳۳ و ۶۹ باسبار IEEE پیاده‌سازی شده و مکان‌های مناسب برای DGها و DSTATCOMها برای هر دو شبکه به دست آمد. نتایج بیانگر تأثیر مثبت روش ارائه شده، در بهبود بارپذیری سیستم و کاهش تلفات شبکه در این دو سیستم است. از آنجاکه الگوریتم‌های فراابتکاری نقاط بهینه کلی دقیق را نمی‌دهند و فقط می‌توانند نزدیک به نقطه بهینه را بیابند، جواب‌های به دست آمده با استفاده از الگوریتم ژنتیک، جواب‌های نزدیک به نقطه بهینه هستند.

واژه‌های کلیدی: منابع تولید پراکنده، DSTATCOM، تلفات، قابلیت بارپذیری، مکان‌یابی، تابع هدف، الگوریتم ژنتیک.

Optimal Placement of DGs and DSTATCOMs in order to Loss Reduction and Loadability Improvement

H. Karami¹, PhD Student; B. Zaker², PhD Student; M. Nasiri³, MSc Student; H. Tarimoradi⁴, PhD Student; G. Gharehpetian⁵, Professor

1, 2, 3, 4 & 5- Faculty of Electrical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran,

Emails: h.karami@aut.ac.ir¹, zaker.behrooz@aut.ac.ir², milad.nasiri@aut.ac.ir³, tarimoradi@gmail.com⁴, grptian@aut.ac.ir⁵

Abstract: Increasing load demand in distribution system, needs extension of distribution system or restructure of network. All the changes in the distribution network, to respond load demand increasing, known as development of distribution system. Due to the development of distribution systems and increasing electricity demand, and in order to overcome the shortcomings of distribution systems such as high loss and low loadability, the use of distributed generation (DG) and FACTS⁴ devices such as DSTATCOMs are increasing. The placement of these devices is a significant factor affecting network loss reduction and improving network performance. In this paper, in order to achieve optimal places of DGs and DSTATCOMs, a new objective function is proposed and optimized based on the genetic algorithm (GA). The objective function includes system loadability and network loss. The proposed method is applied to the IEEE 33-bus and 69-bus test system and optimal places of DGs and DSTATCOMs are achieved by the proposed method. The results show the effectiveness of the proposed method to loadability improvement and loss reduction. As metaheuristic algorithms cannot exactly find optimal point in some problems, the results of this paper are near-optimal points for places of DGs and DSTATCOMs.

Keywords: Distributed generation, DSTATCOM, losses, loadability, placement, objective function, GA.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۸

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۰۸

نام نویسنده مسئول: گئورگ قره‌پتیان

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تهران - خیابان حافظ - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - دانشکده مهندسی برق.

۱- مقدمه

در [۱۷-۱۹] نویسندگان برای مکان‌یابی DSTATCOM ها از تکنیک‌هایی نظیر PSO^y و GA^a بهره برده‌اند.

۲-۱- مکان‌یابی بهینه DG ها بدون در نظر گرفتن DSTATCOM

در [۲۰]، Wang و Nehrir یک روش تحلیلی به‌منظور مکان‌یابی DG ها در شبکه توزیع با توجه به بارهای متفاوت ارائه کرده‌اند که برای کاهش تلفات حقیقی به‌کار می‌رود. در این تحقیق فرض شده است که واحدهای DG ضریب توان واحد دارند و اثر خازنی خطوط هوایی نیز در نظر گرفته نشده است. در [۲۱] نویسندگان روشی بر پایه معادلات پخش بار برای مکان‌یابی و مقدار یابی بهینه DG ها استفاده کرده‌اند. به‌منظور بررسی صحت این مکان‌یابی دو اندیس برای همه باس‌ها به‌کار رفته است. در [۲۲] روش جدیدی به‌منظور مکان‌یابی و مقدار یابی بهینه DG با هدف بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات و افزایش پایداری ولتاژ با استفاده از GA برای مکان‌یابی و PSO برای مقدار یابی انجام شده است. در [۲۳]، روش جدیدی مبتنی بر الگوریتم جستجوی هارمونی به‌منظور مکان‌یابی بهینه منابع تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان ارائه شده است.

۳-۱- بهینه‌سازی همزمان مکان DSTATCOM ها و DG ها

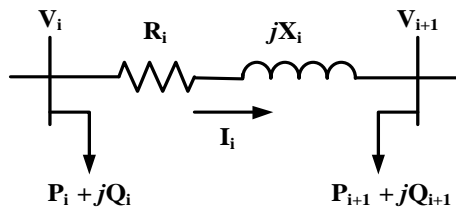
گسترش شبکه‌های توزیع، محدودیت توان منابع تولید پراکنده، افزایش تقاضای بار و هزینه پیاده‌سازی این عناصر باعث می‌شود که نتوان از منابع تولید پراکنده به‌صورت گسترده استفاده نمود. در نتیجه لازم است تا از عناصر دیگری نظیر DSTATCOM ها برای جبران افت ولتاژ، تلفات موجود در شبکه، بهبود ضریب توان و افزایش میزان بارپذیری شبکه در شبکه‌های توزیع بزرگ بهره‌جست. عناصر DSTATCOM کیفیت توان شبکه را به کمک کنترل توان راکتیو بهبود می‌دهد. مکان‌یابی بهینه منابع تولید پراکنده و DSTATCOM ها باید به‌طور همزمان در مسائل بهینه‌سازی شبکه مدل شود. روش‌های بهینه‌سازی زیادی وجود دارند که این مسئله را شامل شده‌اند [۲۷-۲۴]. در [۲۸] مکان‌یابی همزمان منابع تولید پراکنده و DSTATCOM ها با هدف کاهش تلفات توان با استفاده از PSO مطالعه شده است. در [۲۹] مکان‌یابی همزمان منابع تولید پراکنده و DSTATCOM ها با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان (ACO) و منطق فازی به‌منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ انجام شده است. در هیچ‌کدام از مقالات اشاره شده که همزمان DG و DSTATCOM را در نظر گرفته‌اند، بهبود تلفات و بارپذیری شبکه مطالعه نشده است. در این مقاله بهینه‌سازی بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای مکان‌یابی همزمان منابع تولید پراکنده و DSTATCOM ها در شبکه توزیع به‌منظور کاهش تلفات و بهبود بارپذیری شبکه صورت گرفته است. این تابع در شبکه ۳۳ و ۶۹ باسه IEEE پیاده‌سازی و نتایج ارائه شده است. به‌طور کلی، نوآوری‌های مقاله را می‌توان به‌صورت زیر عنوان کرد:

امروزه به علت گسترش سیستم‌های توزیع، این سیستم‌ها نقش مهمی را در برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت ایفا می‌کنند [۵-۱]. بنا بر تحقیقات انجام‌شده، سیستم‌های توزیع شامل ۱۳ درصد از تلفات کل سیستم می‌باشد [۶]. بالا بودن نسبت X/R در شبکه‌های توزیع باعث می‌شود که این شبکه‌ها افت ولتاژ قابل‌ملاحظه‌ای داشته باشند. علاوه بر این، سیستم‌های توزیع معمولاً دارای فیدرهای شعاعی هستند، در نتیجه افزایش تقاضای بار الکتریکی و متعاقباً پیشرفت سیستم‌های توزیع، سبب افزایش افت ولتاژ و تلفات و همچنین ناهماهنگی بار می‌شود [۷]. به سبب وجود محدودیت‌ها نمی‌توان از تمام ظرفیت خطوط بهره برد [۸، ۹]، لذا باید در شبکه‌های توزیع از تجهیزات جدیدی استفاده شود تا بتوان به‌واسطه آن‌ها کیفیت بهره‌برداری از شبکه را ارتقا داد. کاربرد الکترونیک قدرت و فناوری‌های جدید ادوات FACTS و منابع تولید پراکنده برای بهبود کیفیت و شرایط بهره‌برداری از شبکه توزیع افزایش یافته است. این عناصر در شبکه‌های توزیع برای کاهش تلفات، بهبود کیفیت توان، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش میزان بارپذیری شبکه استفاده می‌شوند. بنابراین، مکان این تجهیزات که در شبکه نصب می‌شوند باید به‌نحوی تعیین شود که کیفیت شبکه را بالا ببرد. مسئله مکان‌یابی صحیح این عناصر به یک چالش برای محققان و برنامه‌ریزان شبکه تبدیل شده است.

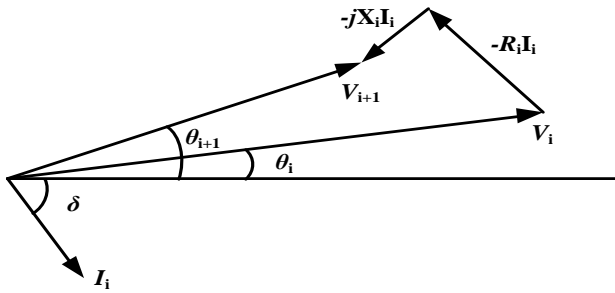
۱-۱- مکان‌یابی بهینه DSTATCOM ها بدون در نظر گرفتن DG ها

DSTATCOM به‌عنوان یک عنصر موازی که به یک مبدل منبع ولتاژ (VSC^د) متصل است به‌طور فزاینده‌ای در مباحث کیفیت توان به‌کار می‌رود. در اضافه‌باری و افت ولتاژ، ولتاژ باسباری که DSTATCOM به آن متصل است با تزریق جریان تنظیمی به سیستم می‌تواند تنظیم شود [۱۰]. این جریان تزریقی به‌وسیله یک باس متصل به منبع ولتاژ و تبادل توان راکتیو می‌تواند ولتاژ را در مقدار مطلوب تنظیم نماید. در [۱۱] نمونه آزمایشی از DSTATCOM ارائه شده است تا به کمک آن اثر افت ولتاژ در عدم تعادل سیستم کاهش یابد. طراحی و بهره‌برداری از DSTATCOM، به‌علاوه مفاهیم کنترل آن در [۱۲] بررسی شده است. تصحیح ضریب توان و کاهش هارمونیک‌هایی که به علت شرایط عدم توازن ولتاژ در سیستم‌های سه‌فاز با بارهای مثلث بهره‌برداری می‌شوند به‌وسیله کاربرد عناصر DSTATCOM در [۱۳] مورد مطالعه قرار گرفته است. در [۱۴] عملکرد یک DSTATCOM به‌وسیله یک روش کنترلی بر مبنای بهبود توان اکتیو و راکتیو لحظه‌ای برای ایجاد یک جریان ثابت در ولتاژها و بارهای متفاوت بررسی شده است. در [۱۵] مقایسه کلی بین سه روش کنترلی برای بهره‌برداری از DSTATCOM ها در شبکه توزیع سه‌فاز چهارسیمه ارائه شده است. در [۱۶] DSTATCOM سه‌فاز سه‌سیمه که با سلول‌های خورشیدی و یا باتری‌هایی که با مبدل بوست^د کار می‌کنند و برای بهبود کیفیت توان به‌کار می‌رود، ارائه شده است.

$$V_{i+1} \angle \theta_{i+1} = V_i \angle \theta_i - (R_i + jX_i) I_i \angle \delta \quad (1)$$



شکل ۲: دیاگرام تک فاز ۲ باس در سیستم توزیع

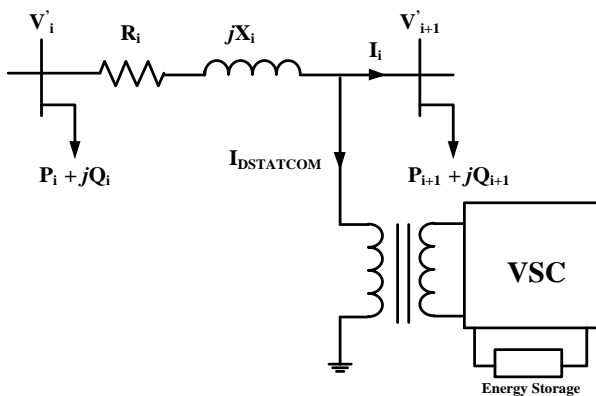


شکل ۳: دیاگرام فازوری ولتاژ و جریان شکل ۲

مقادیر ولتاژ و جریان از پخش بار به دست می‌آید. در سیستم‌های سنتی ولتاژ کم‌تر از یک پریونیت است. با توجه به شکل ۴، در این مورد فرض شده است که ولتاژ در باس $i+1$ کم‌تر از یک پریونیت است و در این مطالعه، DSTATCOM نصب شده است تا ولتاژ را در باس $i+1$ به مقدار مطلوب برساند. DSTATCOM برای تنظیم ولتاژ و کاهش تلفات در شرایط مانا استفاده می‌شود و می‌تواند توان راکتیو به شبکه تزریق نماید. بنابراین، جریان $I_{DSTATCOM}$ عمود بر ولتاژ است. DSTATCOM در باس $i+1$ نصب شده است لذا جریان I_i و $I_{DSTATCOM}$ همزمان از شاخه عبور می‌نمایند.

$$\angle I_{DSTATCOM} = \frac{\pi}{2} + \theta'_{i+1} \quad (2)$$

$$V_{i+1} \angle \theta_{i+1} = V_i \angle \theta_i - (R_i + jX_i) (I_i \angle \delta + I_{DSTATCOM} \angle (\frac{\pi}{2} + \theta'_{i+1})) \quad (3)$$

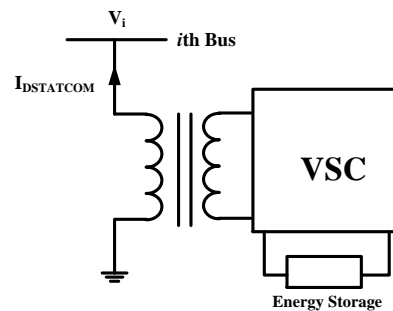


شکل ۴: نصب DSTATCOM در باس $i+1$

- مکان‌یابی همزمان DG و DSTATCOM در شبکه‌های توزیع مورد مطالعه
- در نظر گرفتن همزمان کاهش تلفات و بهبود بارپذیری شبکه، با مکان‌یابی بهینه و همزمان DG و DSTATCOM

۲- DSTATCOM در پخش بار توزیع

DSTATCOM وسیله‌ای است که به صورت موازی به شبکه متصل می‌شود و توان اکتیو و راکتیو را در نقطه مشترک با شبکه هم جذب و هم تزریق می‌کند. DSTATCOM همچنین یک مبدل DC/AC است که شامل یک لینک DC خازنی یا یک منبع DC انرژی است که ولتاژ DC ثابت را مهیا می‌کند و یک کلیدزنی سه‌فاز با مدولاسیون PWM و پل مبدل منبع ولتاژ (VSC) است. این عنصر معمولاً به وسیله ترانسفورماتور کوپلینگ به شبکه توزیع متصل می‌شود [۳۰]. یک DSTATCOM می‌تواند مانند منبع ولتاژ سنکرون با زاویه و اندازه ولتاژ کار کند؛ که از این ویژگی برای تصحیح ولتاژ و ضریب توان بهره می‌گیرند. شکل ۱ یک باس را در شبکه توزیع نشان می‌دهد که DSTATCOM به آن متصل شده است [۵] و [۳۱].



شکل ۱: نمونه یک DSTATCOM متصل به باس i ام

در بسیاری از اتصال کوتاه‌ها و بهره‌برداری در حالت مانا با بارگذاری زیاد، DSTATCOM جریان جبران‌ساز را در نقطه مشترک با شبکه تزریق می‌کند و ولتاژ هم به وسیله DSTATCOM به شکل قابل قبولی به ولتاژ دلخواه نزدیک می‌شود [۳۲-۳۴]. به طور کلی عنصر DSTATCOM توانایی مبادله توان اکتیو و راکتیو را به طور همزمان دارد. این توان مبادله‌ای بستگی به ظرفیت منبع دارد. در این مقاله فرض شده است که تنها توانایی تبادل توان راکتیو را دارا باشد. از آنجایی که شبکه توزیع مورد نظر به صورت شعاعی است از روش Backward/forward sweep برای گرفتن پخش بار از شبکه توزیع استفاده شده است. تمامی شبکه‌های توزیع عموماً به صورت شعاعی هستند و از یک سو تغذیه می‌شوند. قسمتی از یک شبکه نمونه توزیع در شکل ۲ آماده است. فرض شده است که شبکه متعادل است. امپدانس بین باس i و $i+1$ به شکل $R_i + jX_i$ نشان داده می‌شود. بارهای محلی که به باس‌های i و $i+1$ متصل هستند، به ترتیب، به صورت $P_i + jQ_i$ و $P_{i+1} + jQ_{i+1}$ نشان داده می‌شوند. V_i و V_{i+1} ولتاژ باس‌هاست. دیاگرام فازوری شکل ۲ در شکل ۳ ارائه شده است. معادلات KVL به صورت زیر می‌باشد:

الف) هزینه تلفات

تلفات سیستم به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^n R_i |I_i|^2 \quad (16)$$

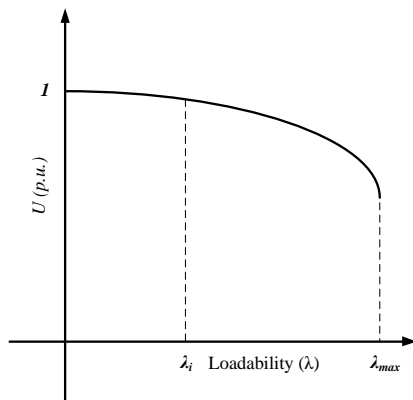
ب) قابلیت بارپذیری

برای یافتن بیشینه قابلیت بارگذاری در شبکه، تمامی بارهای اکتیو و راکتیو افزایش داده می‌شود. در نتیجه معادلات پخش بار در گام i ام مطابق روابط زیر به دست می‌آید:

$$P_i = \lambda_i \times P_i, \quad Q_i = \lambda_i \times Q_i \quad (17)$$

$$\lambda_i = \lambda_0 + (i \times 0.01) \quad i = 1, 2, \dots \quad (18)$$

در این مقاله، λ_0 برابر یک فرض شده است. λ_i تا جایی اضافه می‌شود که معادلات پخش بار واگرا شود. آخرین مقدار قابل قبول λ را بیشینه ظرفیت بارپذیری شبکه می‌نامند که با λ_{max} نشان داده می‌شود. این مقدار در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: منحنی ولتاژ و بارپذیری

برای افزایش میزان قابلیت بارپذیری در شبکه تابع هدف زیر در نظر گرفته شده است.

$$OF_{Loadability} = \frac{1}{\lambda_{max}} \quad (19)$$

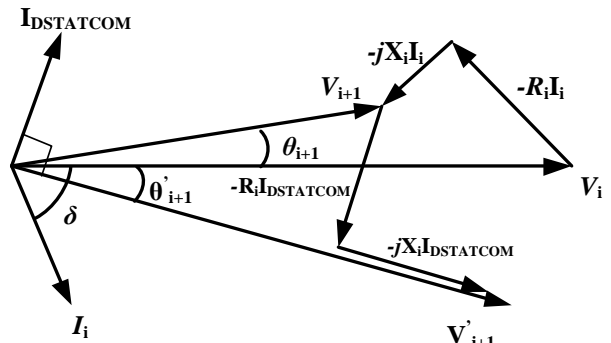
در این مقاله، اهمیت هر دو قسمت تابع هدف را یکسان در نظر گرفته و وزن برابر یک برای هر دو لحاظ شده است. چنین کاری به دلیل پربونیت بودن هر کدام از توابع مورد نظر، امکان پذیر خواهد بود. تابع هدف تعریف شده در این مقاله به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$\text{Objective Function} = \frac{1}{\lambda} + \frac{P_{loss}}{P_{loss(nominal)}} \quad (20)$$

۳-۲- محدوده ولتاژ قابل قبول شبکه

محدوده ولتاژ بین مقادیر زیر است:

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \quad (21)$$



شکل ۵: دیاگرام فازوری ولتاژ و جریان شبکه شکل ۴

دیاگرام فازوری شکل ۴ در شکل ۵ ارائه شده است. با جدا کردن قسمت حقیقی از موهومی در معادله ۳، رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$x = \frac{-B \pm \sqrt{\Delta}}{2A} \quad (4)$$

$$x = \sin \theta'_{i+1} \quad (5)$$

$$A = (a_1 a_3 - a_2 a_4)^2 + (a_1 a_4 + a_2 a_3)^2 \quad (6)$$

$$B = 2(a_1 a_3 - a_2 a_4) \cdot (V'_{i+1}) \cdot (-R_i) \quad (7)$$

$$C = (V'_{i+1} \cdot R)^2 - (a_1 a_4 + a_2 a_3)^2 \quad (8)$$

$$a_1 = \text{Real}(V'_i \angle \theta'_i) - \text{Real}((R_i + jX_i) \cdot (I_i \angle \delta)) \quad (9)$$

$$a_2 = \text{Imag}(V'_i \angle \theta'_i) - \text{Imag}((R_i + jX_i) \cdot (I_i \angle \delta)) \quad (10)$$

$$a_3 = -X_i \quad (11)$$

$$a_4 = -R_i \quad (12)$$

$$\angle I_{DSTATCOM} = \frac{\pi}{2} + \theta'_{i+1} = \frac{\pi}{2} + \sin^{-1} x \quad (13)$$

$$|I_{DSTATCOM}| = \frac{V'_{i+1} \angle \theta'_{i+1} - a_1}{-a_4 \sin \theta'_{i+1} - a_3 \cos \theta'_{i+1}} \quad (14)$$

$$jQ_{DSTATCOM} = (V'_{i+1} \angle \theta'_{i+1}) \cdot (I_{DSTATCOM} \angle (\frac{\pi}{2} + \theta'_{i+1}))^* \quad (15)$$

۳- فرمول بندی مسئله

۳-۱- تابع هدف

بررسی قابلیت بارپذیری شبکه به نوعی با مبحث بررسی پایداری ولتاژ شبکه گره می‌خورد. روش‌های مختلفی در مراجع برای بررسی پایداری ولتاژ ارائه شده است. در [۳۵]، از طریق دنبال کردن منحنی‌های PV و با استفاده از پخش بار تداومی، حاشیه پایداری ولتاژ محاسبه شده است. تابع هدف مورد استفاده در این مقاله، برای مکان‌یابی منابع تولید پراکنده و DSTATCOM است و از ۲ قسمت تشکیل شده است.

۴- بهینه‌سازی به کمک الگوریتم ژنتیک

ترکیب و جهش که در الگوریتم ژنتیک به کار می‌رود، یکی از مهم‌ترین بخش‌ها است که در ادامه آمده است [۳۶]:

۴-۱- عامل ترکیب

ترکیب^۹ در الگوریتم ژنتیک مانند زیر شبیه‌سازی می‌شود:

$$c_{1,k} = \frac{1}{2}[(1-\beta_k)p_{1,k} + (1+\beta_k)p_{2,k}] \quad (22)$$

$$c_{2,k} = \frac{1}{2}[(1+\beta_k)p_{1,k} + (1-\beta_k)p_{2,k}] \quad (23)$$

که $c_{i,k}$ ، i امین نسل از عنصر k ام است. و والدین انتخابی و β_k عدد تصادفی است که به صورت زیر ساخته می‌شود:

$$p(\beta) = \frac{1}{2}(\eta_c + 1)\beta^{\eta_c}, \quad \text{if } 0 \leq \beta \leq 1 \quad (24)$$

$$p(\beta) = \frac{1}{2}(\eta_c + 1)\frac{1}{\beta^{\eta_c+2}}, \quad \text{if } \beta > 1 \quad (25)$$

این توزیع از تابع نمونه یونیفرم، عدد تصادفی بین صفر و یک تولید می‌کند که η_c اندیس توزیع برای ترکیب است.

$$\beta(u) = (2u)^{\frac{1}{(\eta_c+1)}} \quad (26)$$

$$\beta(u) = \left(\frac{1}{2(1-u)}\right)^{\frac{1}{(\eta_c+1)}} \quad (27)$$

۴-۲- عامل جهش^{۱۰}

$$c_k = p_k + (p_k^u - p_k^l)\delta_k \quad (28)$$

که c_k نسل و p_k والد می‌باشد. p_k^l مرز بالایی و p_k^u مرز پایینی است و δ_k کوچک‌ترین تغییر حساب شده از توزیع چندجمله‌ای زیر است:

$$\delta_k = (2r_k)^{\frac{1}{\eta_m+1}} - 1 \quad \text{if } r_k < 0.5 \quad (29)$$

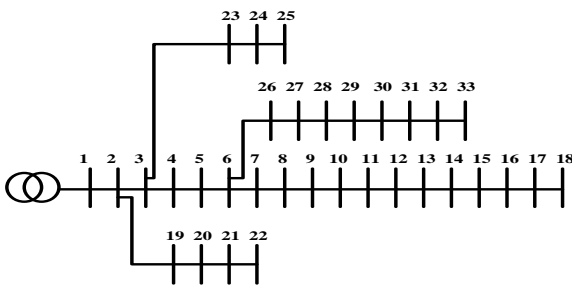
$$\delta_k = 1 - [2(1-r_k)]^{\frac{1}{\eta_m+1}} \quad \text{if } r_k \geq 0.5 \quad (30)$$

که r_k عدد تصادفی بین صفر و یک است و η_m اندیس جهش در توزیع است.

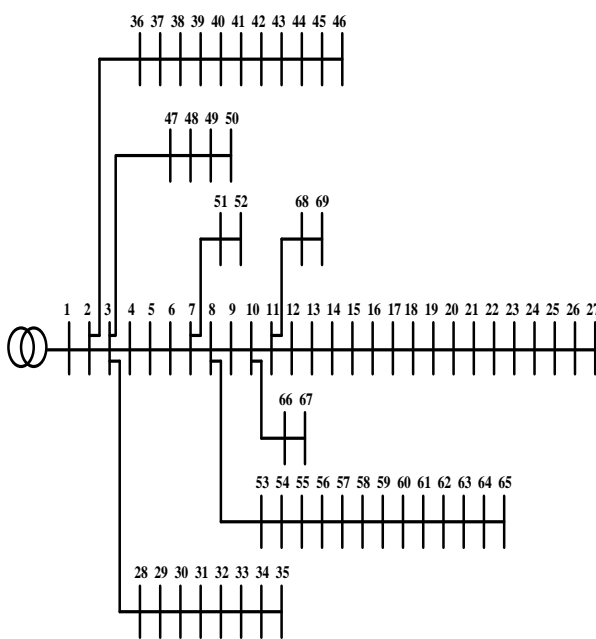
۵- نتایج شبیه‌سازی

شبکه‌های مورد مطالعه در این مقاله شبکه‌های توزیع ۳۳ و ۶۹ باساره IEEE است که در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده‌اند. در این مطالعه هدف یافتن مکان بهینه نصب منابع تولید پراکنده و DSTATCOMها است و فرض شده است که ظرفیت این تجهیزات از قبل معلوم است. این ظرفیت‌ها در جدول ۱ آورده شده است. همچنین ضریب قدرت نامی منابع تولید پراکنده ۰/۸۵ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است

که نتایج حاصل از الگوریتم‌هایی مانند ژنتیک، ممکن است بهینه دقیق سیستم نبوده و نقاط نزدیک به بهینه را داده باشند. به همین دلیل در مقالات قبلی پیشنهاد شده است که جهت کاهش این نقطه‌ضعف (و نه از بین بردن کامل آن)، الگوریتم فراابتکاری برای مسئله چندین بار اجرا گردد و بهترین جواب در مقاله گذاشته شود. در این مسئله برای شبکه ۳۳ و یا ۶۹ باسه، چندین بار الگوریتم اجرا شده و بهترین جواب به دست آمده درج شده است. بدیهی است که این جواب نیز به دلیل خاصیت الگوریتم‌های فراابتکاری، جواب نزدیک به نقطه بهینه (و نه کاملاً بهینه) می‌تواند لقب بگیرند.



شکل ۷: سیستم ۳۳ باسه IEEE



شکل ۸: سیستم ۶۹ باسه IEEE

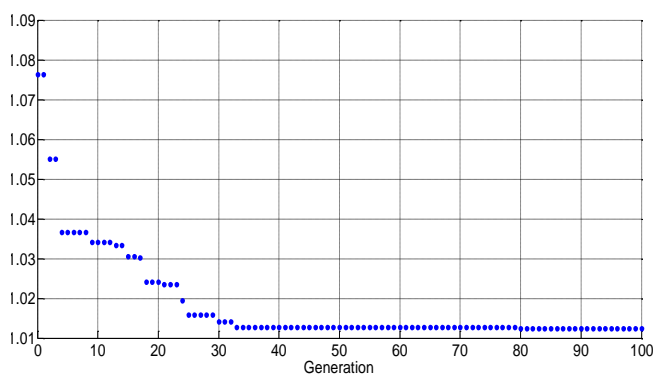
جدول ۱: ظرفیت تجهیزات نصب شده در هر دو شبکه ۳۳ و ۶۹ باسه

ظرفیت	تجهیز
۴۵۰ kVA	۳ عدد DG
۳۰۰ kVAr	۳ عدد DSTATCOM

الف) سیستم ۳۳ باسه IEEE

برای این سیستم جایابی منابع تولید پراکنده و DSTATCOM ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شده که نتایج شبیه‌سازی در جدول ۲

نحوه همگرا شدن تابع هدف در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹: مقدار تابع هدف برای سیستم ۳۳ باسه

مشاهده می‌شود که حضور DG ها به‌تنهایی تأثیر زیادی بر افزایش بارپذیری شبکه ندارد اما حضور DSTATCOM ها به‌دلیل تأثیر بیشتر بر روی ولتاژ باس‌ها، بارپذیری شبکه را به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. همچنین حضور تنهای DSTATCOM ها به این دلیل که جریان راکتیو تزریق می‌کنند، تأثیر زیادی در کاهش تلفات ندارند اما حضور DG ها تلفات را با تزریق توان اکتیو، به میزان قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

ب) سیستم ۶۹ باسه IEEE

برای این سیستم جایابی منابع تولید پراکنده و DSTATCOM ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شده که نتایج شبیه‌سازی در جدول ۳ خلاصه شده است. شایان‌ذکر است که تعداد حالات ممکن برای هر تجهیز به‌صورت انتخاب ۳ از ۶۹ یعنی برابر با ۵۲۳۹۴ خواهد بود. به‌عبارت‌دیگر برای اینکه بتوان تمامی حالات ممکن را بدون استفاده از ژنتیک بررسی کنیم، نیاز به انجام شبیه‌سازی به‌اندازه ۵۲۳۹۴×۵۲۳۹۴ که بیش از ۲/۷ میلیارد شبیه‌سازی نیاز دارد. این تعداد شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک با انتخاب ۲۰ ذره برای میزان جمعیت اولیه و اجرا شدن الگوریتم در ۱۰۰ تکرار برابر با ۲۰۰۰ شبیه‌سازی خواهد شد. از آنجاکه اجرای هر شبیه‌سازی برای یافتن مقدار بارپذیری بیشینه شبکه بسیار زمان‌گیر است، در نتیجه منطقی به نظر می‌رسد که از الگوریتم ژنتیک به‌جای محاسبه تمامی حالات ممکن استفاده نموده و نتایج به‌دست‌آمده که نزدیک به بهینه مطلق و نه دقیقاً بهینه مطلق است را قابل‌قبول دانست. هر چه اندازه شبکه بزرگ‌تر باشد، تعداد حالات ممکن افزایش یافته و استفاده از الگوریتم ژنتیک را منطقی‌تر می‌کند.

در سیستم ۶۹ باسه حضور همزمان DSTATCOM ها و DG ها باعث کاهش ۸۴/۲٪ تلفات شبکه شده است. همچنین قابلیت بارپذیری در سیستم ۶۹ باسه، ۲۲/۴٪ بهبود پیدا کرده است.

نحوه همگرا شدن تابع هدف در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در ابتدا مقدار تابع هدف بسیار بالا بوده، و مکان تجهیزات به‌درستی انتخاب نشده‌اند. اما پس از چند تکرار، در حوالی تکرار پنجم، مکان‌های انتخاب‌شده باعث کاهش قابل‌توجهی در

خلاصه شده است. شایان‌ذکر است که تعداد حالات ممکن برای هر تجهیز به‌صورت انتخاب ۳ از ۳۳ یعنی برابر با ۵۴۵۶ خواهد بود. به‌عبارت‌دیگر برای اینکه بتوان تمامی حالات ممکن را بدون استفاده از ژنتیک بررسی کنیم، نیاز به انجام شبیه‌سازی به‌اندازه ۵۴۵۶×۵۴۵۶ که بیش از ۲۹ میلیون شبیه‌سازی دارد. این تعداد شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک با انتخاب ۲۰ ذره برای میزان جمعیت اولیه و اجرا شدن الگوریتم در ۱۰۰ تکرار برابر با ۲۰۰۰ شبیه‌سازی خواهد شد. از آنجاکه اجرای هر شبیه‌سازی برای یافتن مقدار بارپذیری بیشینه شبکه بسیار زمان‌گیر است، در نتیجه منطقی به نظر می‌رسد که از الگوریتم ژنتیک به‌جای محاسبه تمامی حالات ممکن استفاده نموده و نتایج به‌دست‌آمده که نزدیک به بهینه مطلق و نه دقیقاً بهینه مطلق است را قابل‌قبول دانست.

در سیستم ۳۳ باسه حضور همزمان DSTATCOM ها و DG ها باعث کاهش ۷۸/۴٪ تلفات شبکه شده است. همچنین قابلیت بارپذیری در سیستم ۳۳ باسه ۲۰/۲٪ بهبود پیدا کرده است.

همان‌طور که از نتایج مشخص است، مکان نصب DG ها روی باس‌هایی است که در انتهای فیدر قرار گرفته‌اند. همچنین با توجه به اطلاعات شبکه، که در ضمیمه ۱ آورده شده است، همان‌گونه که انتظار داریم مکان نصب DSTATCOM ها نیز باس‌هایی است که بار راکتیو بالایی دارند.

جدول ۲: نتایج شبیه‌سازی برای سیستم ۳۳ باسه

۳۲، ۱۷، ۱۳	باس‌های	مکان نصب منابع تولید پراکنده
۳۰، ۲۹، ۲۵	باس‌های	مکان نصب DSTATCOM ها
۳/۴		قابلیت بارپذیری (λ) بدون حضور DG ها و DSTATCOM ها
۳/۵		قابلیت بارپذیری (λ) بدون حضور DG ها و در حضور DSTATCOM ها
۴/۱۱		قابلیت بارپذیری (λ) در حضور DG ها و بدون حضور DSTATCOM ها
۴/۲۶		قابلیت بارپذیری (λ) در حضور DG ها و DSTATCOM ها
۲۱۰/۹۷		تلفات شبکه بدون حضور DG ها و DSTATCOM ها
۱۶۲/۸۶		تلفات بدون حضور DG ها و در حضور DSTATCOM ها
۶۸/۹۲		تلفات در حضور DG ها و بدون حضور DSTATCOM ها
۴۵/۶۲		تلفات شبکه در حضور DG ها و DSTATCOM ها
۱/۰۱۴		مقدار تابع هدف

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک تابع هدف جدید برای انتخاب بهینه مکان نصب DSTATCOM ها و DG ها در سیستم‌های ۳۳ و ۶۹ باسبار IEEE ارائه شده است. تابع هدف ارائه‌شده شامل بهبود قابلیت بارپذیری شبکه و کاهش تلفات می‌باشد و از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی تابع هدف استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که حضور همزمان DSTATCOM ها و DG ها باعث کاهش تلفات و بهبود قابلیت بارپذیری شبکه شده است. با توجه به پیاده‌سازی روش ارائه‌شده بر روی دو شبکه مختلف و دریافت نتایج مناسب در هر دو شبکه، می‌توان نتیجه گرفت که تابع هدف ارائه‌شده، برای هر دو شبکه مناسب بوده و می‌توان برای بررسی این دو شبکه، اعمال نمود.

پیوست ۱

جدول ۴: داده‌های شبکه توزیع ۳۳ باسبار IEEE

Bus		P _{Receive} ^{kw}	Q _{Receive} ^{kVAR}	R(Ω)	X(Ω)
Send	Receive				
۱	۲	۱۰۰	۶۰	۰/۰۹۲۲	۰/۰۴۷۰
۲	۳	۹۰	۴۰	۰/۴۹۳۰	۰/۲۵۱۱
۳	۴	۱۲۰	۸۰	۰/۳۶۶۰	۰/۱۸۶۴
۴	۵	۶۰	۳۰	۰/۳۸۱۱	۰/۱۹۴۱
۵	۶	۶۰	۲۰	۰/۸۱۹۰	۰/۷۰۷۰
۶	۷	۲۰۰	۱۰۰	۰/۱۸۷۲	۰/۶۱۸۸
۷	۸	۲۰۰	۱۰۰	۰/۷۱۱۴	۰/۲۳۵۱
۸	۹	۶۰	۲۰	۱/۰۳۰۰	۰/۷۴۰۰
۹	۱۰	۶۰	۲۰	۱/۰۴۴۰	۰/۷۴۰۰
۱۰	۱۱	۴۵	۳۰	۰/۱۹۶۶	۰/۰۶۵۰
۱۱	۱۲	۶۰	۳۵	۰/۳۷۴۴	۰/۱۲۳۸
۱۲	۱۳	۶۰	۳۵	۱/۴۶۸۰	۱/۱۵۵۰
۱۳	۱۴	۱۲۰	۸۰	۰/۵۴۱۶	۰/۷۱۲۹
۱۴	۱۵	۶۰	۱۰	۰/۵۹۱۰	۰/۵۲۶۰
۱۵	۱۶	۶۰	۲۰	۰/۷۴۶۳	۰/۵۴۵۰
۱۶	۱۷	۶۰	۲۰	۱/۲۸۹۰	۱/۷۲۱۰
۱۷	۱۸	۹۰	۴۰	۰/۷۳۲۰	۰/۵۷۴۰
۲	۱۹	۹۰	۴۰	۰/۱۶۴۰	۰/۱۵۶۵
۱۹	۲۰	۹۰	۴۰	۱/۵۰۴۲	۱/۳۵۵۴
۲۰	۲۱	۹۰	۴۰	۰/۴۰۹۵	۰/۴۷۸۴
۲۱	۲۲	۹۰	۴۰	۰/۷۰۸۹	۰/۹۳۷۳
۳	۲۳	۹۰	۵۰	۰/۴۵۱۲	۰/۳۰۸۳
۲۳	۲۴	۴۲۰	۲۰۰	۰/۸۹۸۰	۰/۷۰۹۱
۲۴	۲۵	۴۲۰	۲۰۰	۰/۸۹۶۰	۰/۷۰۱۱
۶	۲۶	۶۰	۲۵	۰/۲۰۳۰	۰/۱۰۳۴
۲۶	۲۷	۶۰	۲۵	۰/۲۸۴۲	۰/۱۴۴۷
۲۷	۲۸	۶۰	۲۰	۱/۰۵۹۰	۰/۹۳۳۷
۲۸	۲۹	۱۲۰	۷۰	۰/۸۰۴۲	۰/۷۰۰۶
۲۹	۳۰	۲۰۰	۶۰۰	۰/۵۰۷۵	۰/۲۵۸۵
۳۰	۳۱	۱۵۰	۷۰	۰/۹۷۴۴	۰/۹۶۳۰
۳۱	۳۲	۲۱۰	۱۰۰	۰/۳۱۰۵	۰/۳۶۱۹
۳۲	۳۳	۶۰	۴۰	۰/۳۴۱۰	۰/۵۳۰۲

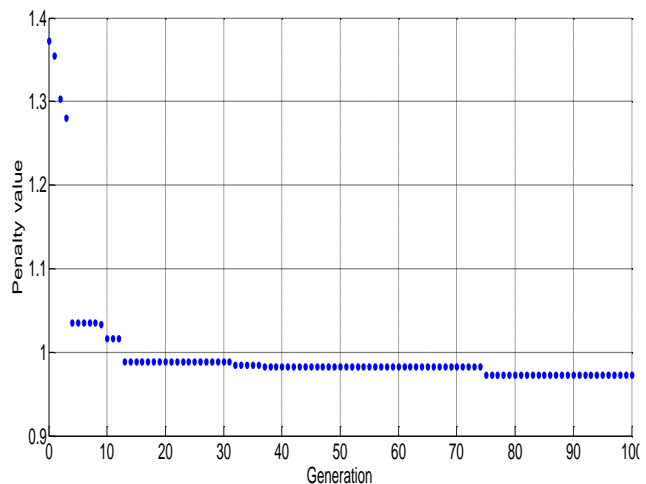
مقدار تابع هدف شده است. با ادامه اجرای الگوریتم بهینه‌سازی، مقدار تابع هدف کاهش یافته و تا جایی اجرای الگوریتم ادامه می‌یابد که یکی از شروط توقف به وقوع بپیوندد.

همان‌طور که از نتایج مشخص است، DG ها روی باس‌های انتهایی فیدر قرار گرفته‌اند تا به بهبود تلفات شبکه کمک کنند. همچنین با توجه به اطلاعات شبکه، که در ضمیمه ۲ آورده شده است، مکان نصب DSTATCOM ها باس‌هایی است که بار راکتیو بالایی دارند که کاملاً توجیه‌پذیر است.

می‌توان نتیجه گرفت که مکان‌های بهینه انتخاب‌شده برای نصب DG ها و DSTARCOM ها توسط الگوریتم بهینه‌سازی در هر دو شبکه مورد مطالعه باعث بهبود قابل توجه وضعیت شبکه شده است.

جدول ۳: نتایج شبیه‌سازی برای سیستم ۶۹ باسه

۶۵	باس‌های ۶۱، ۶۳، مکان نصب منابع تولید پراکنده
۶۲، ۱۸، ۱۱	مکان نصب DSTATCOM ها
۳/۲۱	قابلیت بارپذیری (λ) بدون حضور DG ها و DSTATCOM ها
۳/۲۹	قابلیت بارپذیری (λ) بدون حضور DG ها و در حضور DSTATCOM ها
۳/۸۵	قابلیت بارپذیری (λ) در حضور DG ها و بدون حضور DSTATCOM ها
۳/۹۳	قابلیت بارپذیری (λ) در حضور DG ها و DSTATCOM ها
۲۲۵/۰۳۳	تلفات شبکه بدون حضور DG ها و DSTATCOM ها
۱۸۱/۱۱	تلفات بدون حضور DG ها و در حضور DSTATCOM ها
۵۲/۸۹	تلفات در حضور DG ها و بدون حضور DSTATCOM ها
۳۵/۵۰۶۰	تلفات شبکه در حضور DG ها و DSTATCOM ها
۰/۹۷۴۶	مقدار تابع هدف



شکل ۱۰: مقدار تابع هدف برای سیستم ۶۹ باسه

پیوست ۲

جدول ۵: داده‌های شبکه توزیع ۶۹ باسبار IEEE

Bus		P ^{kw} _{Receive}	Q ^{kVAR} _{Receive}	R(Ω)	X(Ω)
Send	Receive				
۱	۲	۰	۰	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۲
۲	۳	۰	۰	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۲
۳	۴	۰	۰	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۳۶
۴	۵	۰	۰	۰/۰۲۵۱	۰/۰۲۹۴
۵	۶	۲/۶	۲/۲	۰/۳۶۶۰	۰/۱۸۶۴
۶	۷	۴۰/۴	۳۰	۰/۳۸۱۱	۰/۱۹۴۱
۷	۸	۷۵	۵۴	۰/۰۹۲۲	۰/۰۴۷۰
۸	۹	۳۰	۲۲	۰/۰۴۹۳	۰/۰۲۵۱
۹	۱۰	۲۸	۱۹	۰/۸۱۹۰	۰/۲۷۰۷
۱۰	۱۱	۱۴۵	۱۰۴	۰/۱۸۷۲	۰/۰۶۱۹
۱۱	۱۲	۱۴۵	۱۰۴	۰/۷۱۱۴	۰/۲۳۵۱
۱۲	۱۳	۸	۵/۵	۱/۰۳۰۰	۰/۳۴۰۰
۱۳	۱۴	۸	۵/۵	۱/۰۴۴۰	۰/۳۴۵۰
۱۴	۱۵	۰	۰	۱/۰۵۸۰	۰/۳۴۹۶
۱۵	۱۶	۴۵/۵	۳۰	۰/۱۹۶۶	۰/۰۶۵۰
۱۶	۱۷	۶۰	۳۵	۰/۳۷۴۴	۰/۱۲۳۸
۱۷	۱۸	۶۰	۳۵	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۱۶
۱۸	۱۹	۰	۰	۰/۳۲۷۶	۰/۱۰۸۳
۱۹	۲۰	۱	۰/۶	۰/۲۱۰۶	۰/۰۶۹۶
۲۰	۲۱	۱۱۴	۸۱	۰/۳۴۱۶	۰/۱۱۲۹
۲۱	۲۲	۵/۳	۳/۵	۰/۰۱۴۰	۰/۰۰۴۶
۲۲	۲۳	۰	۰	۰/۱۵۹۱	۰/۰۵۲۶
۲۳	۲۴	۲۸	۲۰	۰/۳۴۶۳	۰/۱۱۴۵
۲۴	۲۵	۰	۰	۰/۷۴۸۸	۰/۲۴۷۵
۲۵	۲۶	۱۴	۱۰	۰/۳۰۸۹	۰/۱۰۲۱
۲۶	۲۷	۱۴	۱۰	۰/۱۷۳۲	۰/۰۵۷۲
۳	۲۸	۲۶	۱۸/۶	۰/۰۰۴۴	۰/۰۱۰۸
۲۸	۲۹	۲۶	۱۸/۶	۰/۰۶۴۰	۰/۱۵۶۵
۲۹	۳۰	۰	۰	۰/۳۹۷۸	۰/۱۳۱۵
۳۰	۳۱	۰	۰	۰/۰۷۰۲	۰/۰۲۳۲
۳۱	۳۲	۰	۰	۰/۳۵۱۰	۰/۱۱۶۰
۳۲	۳۳	۱۴	۱۰	۰/۸۳۹۰	۰/۲۸۱۶
۳۳	۳۴	۱۹/۵	۱۴	۱/۷۰۸۰	۰/۵۶۴۶
۳۴	۳۵	۶	۴	۱/۴۷۴۰	۰/۴۸۷۳
۳	۳۶	۲۶	۱۸/۵۵	۰/۰۰۴۴	۰/۰۱۰۸
۳۶	۳۷	۲۶	۱۸/۵۵	۰/۰۶۴۰	۰/۱۵۶۵
۳۷	۳۸	۰	۰	۰/۱۰۵۳	۰/۱۲۳۰
۳۸	۳۹	۲۴	۱۷	۰/۰۳۰۴	۰/۰۳۵۵
۳۰	۴۰	۲۴	۱۷	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۲۱
۴۰	۴۱	۱/۲	۱	۰/۷۲۸۳	۰/۸۵۰۹
۴۱	۴۲	۰	۰	۰/۳۱۰۰	۰/۳۶۲۳
۴۲	۴۳	۶	۴/۳	۰/۰۴۱۰	۰/۰۴۷۸
۴۳	۴۴	۰	۰	۰/۰۰۹۲	۰/۰۱۱۶
۴۴	۴۵	۳۹/۲۲	۲۶/۳	۰/۱۰۸۹	۰/۱۳۷۳
۴۵	۴۶	۳۹/۲۲	۲۶/۳	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۲
۴	۴۷	۰	۰	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۸۴

۴۷	۴۸	۷۹	۵۶/۴	۰/۰۸۵۱	۰/۲۰۸۳
۴۸	۴۹	۳۸۴/۷	۲۷۴/۵	۰/۲۸۹۸	۰/۷۰۹۱
۴۹	۵۰	۳۸۴/۷	۲۷۴/۵	۰/۰۸۲۲	۰/۲۰۱۱
۸	۵۱	۴۰/۵	۲۸/۳	۰/۰۹۲۸	۰/۰۴۷۳
۵۱	۵۲	۳/۶	۲/۷	۰/۳۳۱۹	۰/۱۱۱۴
۹	۵۳	۴/۳۵	۳/۵	۰/۱۷۴۰	۰/۰۸۸۶
۵۳	۵۴	۲۶/۴	۱۹	۰/۲۰۳۰	۰/۱۰۳۴
۵۴	۵۵	۲۴	۱۷/۲	۰/۲۸۴۲	۰/۱۴۴۷
۵۵	۵۶	۰	۰	۰/۲۸۱۳	۰/۱۴۳۳
۵۶	۵۷	۰	۰	۱/۵۹۰۰	۰/۵۳۳۷
۵۷	۵۸	۰	۰	۰/۷۸۳۷	۰/۲۶۳۰
۵۸	۵۹	۱۰۰	۷۲	۰/۳۰۴۲	۰/۱۰۰۶
۵۹	۶۰	۰	۰	۰/۳۸۶۱	۰/۱۱۷۲
۶۰	۶۱	۱۲۴۴	۸۸۸	۰/۵۰۷۵	۰/۲۵۸۵
۶۱	۶۲	۳۲	۲۳	۰/۰۹۷۴	۰/۰۴۹۶
۶۲	۶۳	۰	۰	۰/۱۴۵۰	۰/۰۷۳۸
۶۳	۶۴	۲۲۷	۱۶۲	۰/۷۱۰۵	۰/۳۶۱۹
۶۴	۶۵	۵۹	۴۲	۱/۰۴۱۰	۰/۵۳۰۲
۱۱	۶۶	۱۸	۱۳	۰/۲۰۱۲	۰/۰۶۱۱
۶۶	۶۷	۱۸	۱۳	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۱۴
۱۲	۶۸	۲۸	۲۰	۰/۷۳۹۴	۰/۲۴۴۴
۶۸	۶۹	۲۸	۲۰	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۱۶

مراجع

- [1] N. Gupta, A. Swarnkar, and K. R. Niazi, "Distribution network reconfiguration for power quality and reliability improvement using Genetic Algorithms," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 54, pp. 664-671, 2014.
- [2] T. H. Ortmeyer, T. Hiyama, and H. Salehfar, "Power quality effects of distribution system faults," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 18, no. 5, pp. 323-329, 1996.
- [3] H. Shareefa, A. A. Ibrahim, N. Salman, A. Mohameda, and W. Ling Aia, "Power quality and reliability enhancement in distribution systems via optimum network reconfiguration by using quantum firefly algorithm," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 58, pp. 160-169, 2014.
- [4] J. F. Franco, M. J. Rider, M. Lavorato, and R. A. Romero, "Mixed-integer LP model for the optimal allocation of voltage regulators and capacitors in radial distribution systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 48, pp. 123-130, 2013.
- [5] A. Taher, and S. A. Afsari, "Optimal location and sizing of DSTATCOM in distribution systems by immune algorithm," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 60, pp. 34-44, 2014.
- [6] H. N. Ng, M. A. Salama, and A. Y. Chikhani, "Classification of capacitor allocation techniques," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 15, no. 1, pp. 387-392, 2000.
- [7] M. H. Moradi, A. Zeinalzadeh, Y. Mohammadi, and M. Abedini, "An efficient hybrid method for solving the optimal sitting and sizing problem of DG and shunt

- by means of genetic algorithms," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 16, no. 3, pp. 537-544, 2001.
- [20] C. Wang, and M. H. Nehrir, "Analytical approaches for optimal placement of DG sources in power systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 19, no. 4, pp. 2068-2076, 2004.
- [21] D. H. Popovic, J. A. Greatbanks, and A. Pregelj, "Placement of distributed generators and reclosers for distribution network security and reliability," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 27, no. 5, pp. 398-408, 2005.
- [22] M. H. Moradi, and M. Abedini, "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 34, no. 1, pp. 66-74, 2012.
- [۲۳] یوسف پورجمال و علی عجمی، «یک روش جدید برای جایابی منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع با هدف کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۲، شماره ۲، صفحات ۶۵-۷۵، ۱۳۹۱.
- [24] H. Karami, M. J. Sanjari, and G. B. Gharehpetian, "Hyper-spherical search (HSS) algorithm: A novel meta-heuristic algorithm to optimize nonlinear functions," *Neural Computing and Applications*, vol. 25, no. 6, pp. 1455-1465, 2014.
- [25] H. Karami, M. J. Sanjari, S. H. Hosseinian, and G. B. Gharehpetian, "Stochastic load effect on home energy system scheduling optimization," *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 25, no. 10, pp. 2412-2426, 2015.
- [26] H. Karami, M. J. Sanjari, S. H. Hosseinian, and G. B. Gharehpetian, "An optimal dispatch algorithm for managing residential distributed energy resources," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 5, pp. 2360-2367, 2014.
- [27] H. Karami, M. J. Sanjari, A. Tavakoli, and G. B. Gharehpetian, "Optimal scheduling of residential energy system including combined heat and power system and storage device," *Electric Power Components and Systems*, vol. 41, no. 8, pp. 765-781, 2013.
- [28] S. Devi, and M. Geetanjali, "Optimal location and sizing determination of Distributed Generation and DSTATCOM using Particle Swarm Optimization algorithm," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 62, no. 5, pp. 562-570, 2014.
- [29] H. B. Tolabi, M. H. Ali, and M. Rizwan, "Simultaneous reconfiguration, optimal placement of DSTATCOM, and photovoltaic array in a distribution system based on fuzzy-ACO approach," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 6, no. 1, pp. 210-218, 2015.
- [30] B. Blazic, and I. Papic, "A new mathematical model and control of DSTATCOM for operation under unbalanced conditions," *Electric Power Systems Research*, vol. 72, no.3, pp. 279-287, 2004.
- [31] M. Hosseini, H. A. Shayanfar, and M. Fotuhi-Firuzabad, "Modeling of D-STATCOM in distribution systems load flow," *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, vol. 8, no. 10, pp. 1532-1542, 2007.
- capacitor banks simultaneously based on imperialist competitive algorithm and genetic algorithm," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 54, pp. 101-111, 2014.
- [8] H. D. Chiang, J. C. Wang, O. Cookings, and H. D. Shin, "Optimal capacitor placements in distribution systems: a new formulation of the overall problem," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 5, no. 2, pp. 634-642, 1990.
- [9] C. S. Chen, C. T. Hsu, and Y. H. Yan, "Optimal distribution feeder capacitor placement considering mutual coupling effect of conductors," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 10, no. 2, pp. 987-994, 1995.
- [10] P. S. Sensarma, K. R. Padiyar, and V. Ramanarayanan, "Analysis and performance evaluation of a distribution STATCOM for compensating voltage fluctuations," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 16, no. 2, pp. 259-264, 2001.
- [11] H. Masdi, N. Mariun, S. Mahmud, A. Mohamed, and S. Yusuf, "Design of a prototype DSTATCOM for voltage sag mitigation," *Power and Energy Conference IEEE*, pp. 61-66, 2004.
- [12] V. R. Dinavahi, M. R. Irvani, and R. Bonert, "Real-time digital simulation and experimental verification of a DSTATCOM interfaced with a digital controller," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 26, no. 9, pp. 703-713, 2004.
- [13] T. Zaveri, B. R. Bhalja, and N. Zaveri, "Load compensation using DSTATCOM in three-phase, three-wire distribution system under various source voltage and delta connected load conditions," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 41, no. 1, pp. 34-44, 2012.
- [14] T. Zaveri, B. R. Bhalja, and N. Zaveri, "A novel approach of reference current generation for power quality improvement in three-phase, three-wire distribution system using DSTATCOM," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 33, no. 10, pp. 1702-1710, 2011.
- [15] T. Zaveri, B. R. Bhalja, and N. Zaveri, "Comparison of control strategies for DSTATCOM in three-phase, four-wire distribution system for power quality improvement under various source voltage and load conditions," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 43, no. 5, pp. 582-594, 2012.
- [16] V. K. Kannan, and N. Rengarajan, "Investigating the performance of photovoltaic based DSTATCOM using $I \cos(\phi)$ algorithm," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 54, no. 3, pp. 76-86, 2014.
- [17] Y. Del Valle, J. C. Hernandez, G. K. Venayagamoorthy, and R. G. Harley, "Multiple STATCOM allocation and sizing using particle swarm optimization," *IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*, pp. 1884-1891, 2006.
- [18] N. Yorino, E. E. El-Araby, H. Sasaki, and S. Harada, "A new formulation for FACTS allocation for security enhancement against voltage collapse," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 18, no. 1, pp. 3-10, 2003.
- [19] S. Gerbex, R. Cherkaoui, and A. Germond, "Optimal location of multi-type FACTS devices in a power system

- [۳۵] فرید کربلایی و حسین صابری، «محاسبه سریع و دقیق حاشیه پایداری ولتاژ با تقریب منحنی PV»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۴، شماره ۳، صفحات ۳۳-۴۰، ۱۳۹۳.
- [32] N. G. Hingorani, "Introducing custom power," *IEEE Spectrum*, vol. 32, no. 6, pp. 41-48, 1995.
- [33] S. Nilsson, "Special application consideration for custom power systems," *Power Engineering Society*, vol. 2, pp. 1127-1130, 1999.
- [34] A. Adya, B. Singh, J. R. P. Gupta, and A. P. Mittal, "Application of DSTATCOM for isolated system," *IEEE TENCOM Conference*, vol. 100, pp. 351-354, 2004.
- [36] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan, "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 6, no. 2, pp. 182-197, 2002.

زیرنویس‌ها

⁶ Boost Converter

⁷ Particle Swarm Optimization

⁸ Genetic Algorithm

⁹ Crossover

¹⁰ Mutation

¹ Distribution Flexible Alternative Current Transmission Systems

² Distribution STATic COMPensator

³ Distributed Generation

⁴ Flexible Alternative Current Transmission Systems

⁵ Voltage Source Converter