

جایابی بهینه تجهیزات حفاظتی در شبکه‌های توزیع با در نظر گرفتن نقاط رینگ و تولید پراکنده براساس تحلیل ریسک

سید مسعود لعل موسوی¹، یاسر دامچی²

¹ کارشناسی ارشد مهندسی برق سیستم‌های انرژی، کارشناس فنی مهندسی شرکت مهندسی مشاور نیروی خراسان
(منیران) masood3808@gmail.com

² استادیار، دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود damchi@shahroodut.ac.ir

چکیده

با توجه به گسترش شبکه‌های توزیع و رشد روزافزون تقاضای انرژی، حفظ قابلیت اطمینان شبکه در سطح مطلوب از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده از تجهیزات حفاظتی از جمله کلیدهای قدرت یکی از راهکارهای مناسب برای رسیدن به این هدف می‌باشد. از طرف دیگر با توجه به محدودیت‌های اقتصادی، جایابی بهینه کلیدها دارای اهمیت بالایی است. در این مقاله جایابی بهینه کلیدهای قدرت، بر اساس تجزیه و تحلیل ریسک با در نظر گرفتن نقاط رینگ و تولید پراکنده در شبکه توزیع پیشنهاد شده است. جایابی بهینه کلیدها طوری انجام می‌شود که شبکه دارای کمترین مقدار ریسک، یا به عبارت دیگر، حداقل انرژی تأمین نشده (ENS) باشد. جهت اعتبارسنجی کارایی الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم در نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده و بر روی یک شبکه توزیع 25 شینه نمونه اجرا گردیده است. نتایج شبیه‌سازیها حاکی از آن است که الگوریتم با در نظر گرفتن نقاط رینگ و تولید پراکنده کارایی مناسبی در جایابی کلیدها دارد. همچنین لحاظ نمودن نقاط رینگ و تولید پراکنده، سبب کاهش قابل توجه انرژی تأمین نشده شبکه توزیع می‌شود.

واژه‌های کلیدی

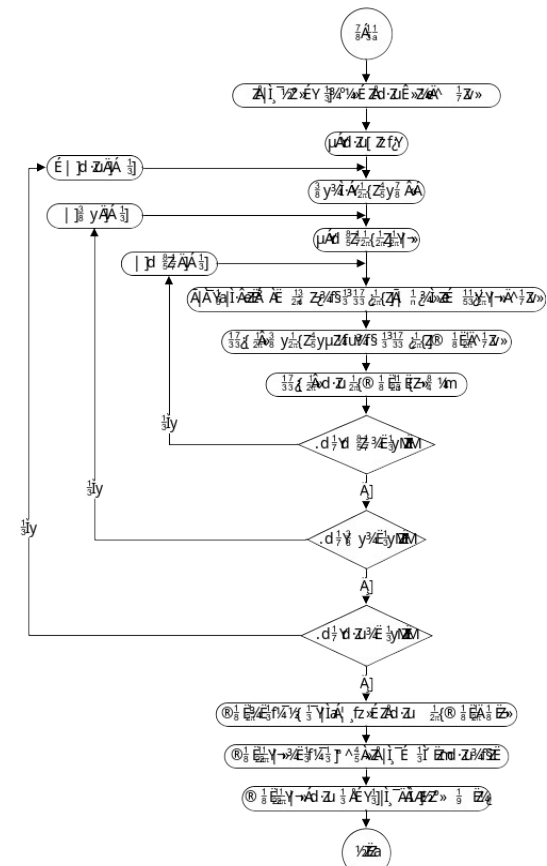
شبکه توزیع، جایابی کلیدها، تحلیل ریسک، نقاط رینگ، تولید پراکنده.

مقدمه

امروزه با افزایش گستردگی و پیچیدگی شبکه‌های توزیع، حفظ قابلیت اطمینان این شبکه‌ها در سطح مطلوب از اهمیت بالای برخوردار است. همچنین آثار اقتصادی و اجتماعی انرژی تأمین نشده، قابل چشم پوشی نیست. یکی از راهکارها برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع استفاده از تجهیزات حفاظتی مانند کلیدها می‌باشد. در طراحی سیستم حفاظتی باید در نظر داشت که در صورت بروز خطا و شرایط اضطراری، به منظور رفع خطا، کمترین مقدار بار از مدار خارج شود. یا به عبارت دیگر انرژی تأمین نشده به حداقل برسد، به طوری که هزینه صرف شده برای تجهیزات حفاظتی نیز معقولانه باشد.

ساختار شبکه‌های برق در سطح توزیع عموماً به صورت شعاعی می‌باشد. از مزایای این ساختار، ارزان بودن، ساده بودن ساختار و ساده بودن طراحی سیستم حفاظت در این شبکه‌ها است. در صورت بروز خطا در این نوع شبکه‌ها، با جداسازی قسمت آسیب دیده، شبکه از محل خطا تا انتهای فیدر بی‌برق می‌شود که باعث افزایش هزینه انرژی تأمین نشده می‌شود [1]، و به سبب آن قابلیت اطمینان شبکه کاهش پیدا می‌کند. با توجه به اینکه تعداد خطاهای اتصال کوتاه در شبکه توزیع مقدار قابل توجهی است، از راهکارهای مختلفی برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه و تأمین انرژی مصرف کننده استفاده می‌شود. از جمله این راهکارها می‌توان به در نظر گرفتن نقاط رینگ و تولیدات پراکنده (DG) در شبکه توزیع برای تأمین انرژی در صورت قطع منبع اصلی و در مواقع اضطراری اشاره نمود. مزیت این راهکارها بدین صورت است که در صورت بروز خطا و جدا کردن قسمت آسیب دیده، سایر قسمت‌های فیدر می‌تواند از یک مسیر دیگر تغذیه شود و به این صورت می‌توان میزان خاموشیها و هزینه انرژی تأمین نشده (CENS) را کاهش داد. استفاده از نقاط رینگ در شبکه‌های توزیع در کشور ما متداولتر است و برای انجام عملیات مانور در صورت بروز خطا یا مواقع اضطراری در شبکه‌های توزیع از این نوع اتصالها استفاده می‌شود. تاکنون مقالات مختلفی با در نظر گرفتن دیدگاه‌های متفاوت برای جایابی بهینه کلیدها در شبکه‌های توزیع ارائه شده است. برخی از این مقالات روشی برای جایابی کلید در حضور DGها ارائه داده‌اند. برای مثال در مرجع [2] از الگوریتم ژنتیک برای جایابی کلیدها استفاده شده است در حالی که حضور تولیدات پراکنده را در نظر گرفته و تابع هدف را حداکثر کردن سود حاصل از کاهش CENS بیان کرده است. مرجع [3] جایابی ادوات حفاظتی شبکه توزیع را با هدف حداکثر کردن سود اقتصادی حاصل از کاهش

تعداد کلیدهای موجود و تعداد جایگاههای ممکن و غیر تکراری، ریسک کل شبکه برای هر یک از جایگشتهای ممکن برای کلیدها محاسبه میشود. محاسبه ریسک به این صورت انجام میشود که با در نظر گرفتن احتمال خطا در هر خط و منحنی بار 24 ساعته مقدار ریسک براساس وجود خطا در هر خط محاسبه میشود. سپس برای محاسبه ریسک در هر جایگشت ممکن برای کلیدها، مقادیر ریسک برای تمامی خطوط جمع میشوند. در ادامه با مقایسه مقادیر ریسک در تمامی حالتها، کمترین مقدار ریسک که نشاندهنده حداقل انرژی تأمین نشده است انتخاب میگردد.



شکل (1): روندنمای الگوریتم بهینه‌سازی

برای محاسبه ریسک شبکه در یک حالت، با توجه به احتمال خطا در هر خط و مجموع بار تأمین نشده، مقدار ریسک برای هر خط محاسبه می‌شود. سپس با جمع کردن ریسک تمامی خطوط، مقدار ریسک در کل شبکه در آن حالت محاسبه میگردد. مقدار ریسک را میتوان از رابطه (1) محاسبه نمود:

$$R_a = \sum_{b=1}^n P_b \cdot L_b \quad (1)$$

که در رابطه (1)، R_a ریسک شبکه در حالت a ، P_b احتمال وقوع خطا در خط شماره b و L_b مجموع بارهایی است که تغذیه آنها با وقوع خطا در خط

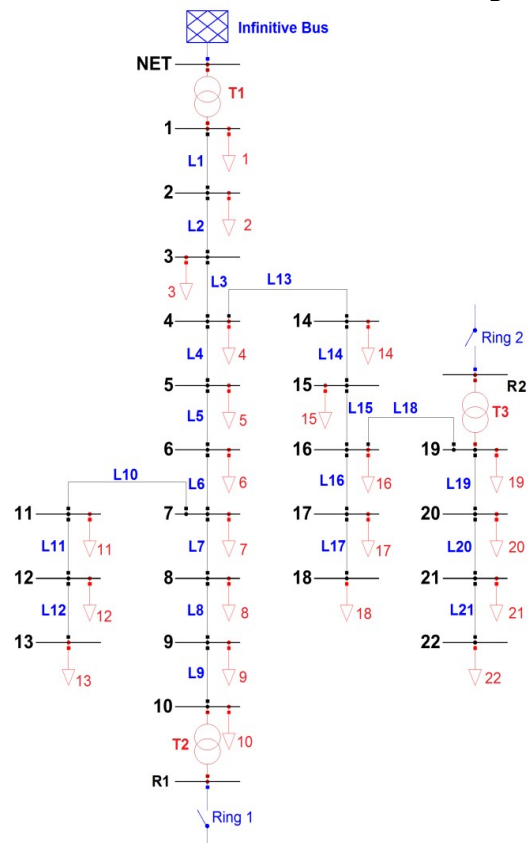
انرژی تأمین نشده به کمک الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک انجام شده است. در مرجع [4 و 5] جایابی کلیدها را در حضور DGها بر اساس بهینه سازی چند سطحی با هدف حداقل کردن شاخص هایی مانند تعداد دفعات قطع در سیستم و میانگین زمان طول قطع سیستم انجام داده‌اند. در این مرجع به ترتیب از الگوریتم توده ذرات (PSO) و الگوریتم کلونی مورچه (ACO) برای حل مسئله بهینه‌سازی استفاده شده است. مرجع [6] از منطق فازی و تحلیل ریسک برای جایابی بهینه کلیدها در حضور تولیدات پراکنده استفاده نموده است. مراجع [7-9] جایابی کلیدها در شبکه توزیع را در حضور تولید پراکنده با استفاده از تحلیل ریسک انجام داده‌اند. مرجع [10] - از روش MILP برای مدلسازی و حل مسئله مذکور استفاده کرده است. مرجع [11] مسئله جایابی کلیدها را با کمک بهینه‌سازی غیرخطی و الگوریتم ژنتیک (GA) با هدف کاهش انرژی تأمین نشده انجام داده است. مرجع [12] از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده برای جایابی کلیدها در حضور تولید پراکنده به منظور حداقل سازی انرژی تأمین نشده انجام داده است. مرجع [13] جایابی و تعیین تعداد مناسب کلیدها را در حضور تولید پراکنده با استفاده از ترکیب دو الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و توده ذرات انجام داده است. در مرجع [14] جایابی تولیدات پراکنده و جایابی کلیدها به طور همزمان به منظور افزایش قابلیت اطمینان شبکه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی PSO انجام شده است. مرجع [15] جایابی کلیدها را در شبکه شعاعی با استفاده از روش اکتشافی به منظور حداقل کردن بار خارج شده و حداکثر نمودن قابلیت اطمینان انجام داده است.

با توجه به بررسی مطالعات انجام شده، دیده می‌شود که در اغلب مقالات جایابی کلید در حضور تولیدات پراکنده (DG) و بدون در نظر گرفتن نقاط رینگ موجود در شبکه بررسی شده است. بنابراین در این مقاله جایابی بهینه کلیدها با در نظر گرفتن نقاط رینگ علاوه بر تولید پراکنده در شبکه توزیع بر اساس تحلیل ریسک انجام شده است. تابع هدف مسئله حداقل سازی ریسک شبکه، که معادل با حداقل شدن انرژی تأمین نشده می‌باشد، در ادامه نحوه محاسبه ریسک شبکه توضیح داده میشود و سپس روش پیشنهادی بر روی یک شبکه 25 شینه نمونه بررسی میشود.

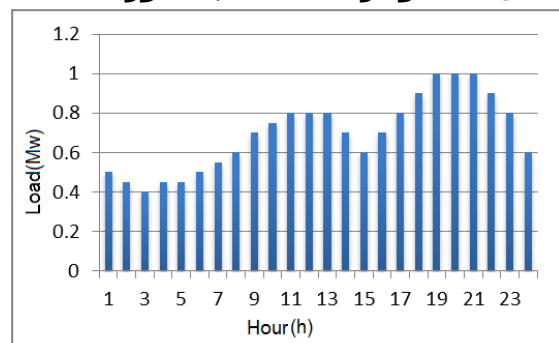
الگوریتم جایابی بهینه کلید

شکل (1) روندنمای الگوریتم پیشنهادی برای جایابی بهینه کلید با در نظر گرفتن نقاط رینگ را نشان میدهد. در الگوریتم پیشنهادی با توجه به

کلیدهای موجود نشان میدهد. با توجه به این جدول دیده میشود که با در نظر گرفتن رینگ قابلیت اطمینان شبکه به طور قابل توجهی بهبود مییابد. به عنوان مثال در حالت چهار کلیدی با در نظر گرفتن رینگ شماره یک، مقدار ریسک از 32/31 به 70/21 کاهش یافته است. به عبارت دیگر با در نظر گرفتن رینگ شماره یک، مقدار ریسک به اندازه 31 درصد کاهش مییابد و همچنین مکان بهینه کلیدها روی خطوط 3، 4، 7 و 18 میباشد.



شکل 2: نمودار تکخطی شبکه مورد مطالعه



شکل (3): منحنی تغییرات بار در 24 ساعت

برای بررسی تأثیر DG بر روی مکان بهینه کلیدها فرض میشود که امکان اتصال یک DG با ظرفیت 3 مگاوات در محل شینه R2 وجود دارد. جدول (2) مقادیر ریسک و مکان بهینه کلیدها را با در نظر گرفتن تولید پراکنده نشان میدهد. با مقایسه جداول (1) و (2) دیده میشود که با در نظر گرفتن DG مقدار ریسک کاهش مییابد. به

b قطع میشود.

از آنجا که بار شبکه توزیع در زمانهای مختلف متفاوت است، مقدار ریسک باید برای تمامی بازههای زمانی مورد نظر توسط رابطه (2) محاسبه شود:

$$R_a = \sum_{c=1}^m \sum_{b=1}^n P_b \cdot L_{b,c} \quad (2)$$

که در رابطه (2)، R_a ریسک شبکه در حالت a ، P_b احتمال وقوع خطا در خط شماره b و $L_{b,c}$ مجموع بارهایی است که با وقوع خطا در خط b در زمان c با قطع برق روبهرو میشود.

شبکه مورد مطالعه

برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی یک شبکه توزیع 25 شینه به عنوان شبکه مورد مطالعه برای شبیهسازی در نظر گرفته شده، نمودار تکخطی شبکه مورد مطالعه در شکل (2) نشان داده شده است. این شبکه دارای 21 خط انتقال در سطح ولتاژ 20 کیلووات میباشد. در شرایط عادی تمامی شبکه از طریق باس NET تغذیه میشود و همچنین در مواقع اضطراری و در مانورهای الکتریکی، امکان تغذیه شبکه از طریق نقاط رینگ در محل دو باس R1 و R2 وجود دارد. اطلاعات فنی شبکه در مرجع [11] موجود است. همچنین به منظور بررسی تولید پراکنده بر روی جایی بهینه کلیدها فرض میشود که به جای رینگ شماره 2 امکان وصل تولید پراکنده فراهم باشد. با توجه به اینکه میزان بار در شبکه طی زمانهای مختلف متفاوت است برای مدلسازی تغییرات بار در طی 24 ساعت از اطلاعات شکل (3) استفاده شده است. در نظر گرفتن تغییرات بار سعی شده که تغییرات بار شبکه مورد مطالعه به منحنی بار به شبکه توزیع واقعی نزدیک باشد. فرض میشود که مقادیر تمامی بارها در هر ساعت برابرند و تغییرات بار در تمامی بارها به صورت یکسان و همزمان صورت میگیرد. تحلیل ریسک در این شبکه با توجه به اینکه احتمال خطا در تمامی خطوط برابر 01/0 میباشد، محاسبه شده است. با توجه به ساختار شبکه، 21 جایگاه ممکن برای جایی کلیدها وجود دارد. برای شبیهسازی شبکه توزیع و پیادهسازی الگوریتم بهینهسازی از نرمافزار MATLAB استفاده شده است.

نتایج شبیهسازی

در شبکه مورد مطالعه 21 مکان ممکن برای نصب کلیدها وجود دارد. همچنین فرض میشود که امکان نصب حداکثر چهار کلید و حداقل یک کلید در شبکه وجود دارد. جدول (1) مکان بهینه نصب کلیدها را با توجه به محل رینگ و تعداد

عنوان مثال در حالت چهار کلیدی مقدار ریسک از 32/31 به 27 کاهش مییابد. محل کلیدها در این حالت روی خطوط 4، 7 و 18 است جدول (1): تاثیر اتصال رینگ بر ریسک شبکه و جایی کلیدها

ریسک از 32/31 به 36/18 کاهش مییابد. محل کلیدها در این حالت روی خطوط 3، 4، 7 و 18 است.

جدول (3): در نظر گرفتن وجود DG با ظرفیت 3Mw در باس R2 و رینگ 1 در باس R1

مقدار ریسک	شماره خط تعیین شده برای قرار گیری کلید			
	کلید 1	کلید 2	کلید 3	کلید 4
حالت چهار کلید				
36/18	3	4	7	18
حالت سه کلید				
31/23	4	7	15	--
حالت دو کلید				
20/29	5	15	--	--
حالت تک کلید				
70/39	4	--	--	--

نتیجه گیری

جایابی بهینه کلیدها با توجه به رشد و توسعه شبکههای توزیع و وجود محدودیتهای اقتصادی برای شرکتهای توزیع از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله جایابی کلیدها با استفاده از تحلیل ریسک و در نظر گرفتن نقاط رینگ و امکان نصب تولید پراکنده انجام شده است. نتایج نشان میدهد وجود تولید پراکنده در بهبود ریسک شبکه موثر است درحالیکه نقاط رینگ در شبکه تاثیر قابل توجهی بر روی مقدار ریسک شبکه و کاهش هزینه انرژی تامین نشده دارد و همچنین مکان نقاط رینگ بر جایابی بهینه کلیدها مؤثر است.

جدول (2): در نظر گرفتن وجود DG در باس R2

مراجع و منابع

- [1] سوادی پور، مهدی (1396). انواع شبکههای توزیع و بررسی ساختار شبکههای فشار ضعیف حلقوی و شعاعی. دومین کنفرانس ملی تحقیقات بین رشتهای در مهندسی کامپیوتر، برق، مکانیک و مکاترونیک. بویین زهرا، دانشگاه فنی و مهندسی بویین زهرا.
- [2] بابائی، ابراهیم، مهائی، سیدمهدی و عباسی راحلی، فیروز (1391). جایابی ادوات حفاظتی در شبکه توزیع تبریز. کنفرانس تخصصی حفاظت و کنترل سیستمهای قدرت، دوره هفتم.
- [3] سعید نیا، محمد مهدی، و ازوجی، هادی (1387). هماهنگی حفاظتی برای شبکه های توزیع حلقوی با ژنراتور پراکنده (DG). سیزدهمین کنفرانس سراسری شبکه های توزیع نیروی برق، گیلان.

- [4] Prommee, W., & Ongsakul, W. (2015). Multi-objective optimal placement of protective devices on microgrid using improved binary multi-objective PSO *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 11, 2621-2638.

در جدول (3) مکان بهینه کلیدها را با در نظر گرفتن امکان هم زمان رینگ در شینه R1 و وجود DG در شینه R2 نشان میدهد. با مقایسه جداول (1) و (4) دیده میشود که با در نظر گرفتن DG و نقطه رینگ، در حالت چهار کلیدی مقدار

- [5] Tippachon, W., & Rerkpreedapong, D. (2009). Multiobjective optimal placement of switches and protective devices in electric power distribution systems using ant colony optimization. *Electric Power Systems Research*, (79)7, 1171-1178.
- [6] Javadian, S. A. M., & Massaeli, M. (2016). Fuzzy risk based method for optimal placement of protection devices in distribution networks with DG. *Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT-Asia)*, 838-843.
- [7] Javadian, S. A. M., Haghifam, M. R., S. M. Bathaee, T., & Fotuhi Firoozabad, M. (2013). Adaptive centralized protection scheme for distribution systems with DG using risk analysis for protective devices placement. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, (44)1, 337-345.
- [8] Javadian, S. A. M., & Haghifam, M. R. (2010). Optimal placement of protective devices in distribution networks based on risk analysis. *Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA), 2010 IEEE/PES*, 147-154.
- [9] Haghifam, M. R., Falaghi, H., & Malik, O. P. (2008). Risk-based distributed generation placement. *IET Generation, Transmission & Distribution*, (2) 2, 252-260.
- [10] Abiri-Jahromi, A., Fotuhi-Firuzabad, M., Parvania, M., & Mosleh, M. (2012). Optimized sectionalizing switch placement strategy in distribution systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, (27)1, 362-370.
- [11] Dezaki, H., Abyaneh, H., Agheli, A., & Mazlumi, K. (2012). Optimized switch allocation to improve the restoration energy in distribution systems. *Journal of Electrical Engineering*, (63)1, 47-52.
- [12] Baruah, B., Das, S., & Ghosh, M. (2015). Optimal placement of protective devices in a distributed power system. *India Conference (INDICON), 2015 Annual IEEE*, 1-6.
- [13] Golestani S., & Tadayon, M. (2011). Optimal switch placement in distribution power system using linear fragmented particle swarm optimization algorithm preprocessed by GA. In *Energy Market (EEM), 2011 8th International Conference on the European*, 537-542.
- [14] Priya, G. S., Kumar, J. S., Raja, S. C., & Venkatesh, P. (2017). Distributed generator and reclosers placement in distribution system with reliability consideration. *Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), 2017 Innovations*, 1-7.
- [15] Bezerra, J. R., Barroso, G. C., & Leao, R. P. (2012). Switch placement algorithm for reducing customers outage impacts on radial distribution networks. *TENCON 2012-2012 IEEE Region 10 Conference*, 1-6.