

حداقل سازی تلفات در شبکه های تولید و توزیع برق با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی

بدست آوردن روش هایی برای بدست آوردن بیشترین مقدار کاهش تلفات در سیستم های قدرت

نام نویسندگان عضو سازمان دوم (شیوه: نویسنده)

سطر ۱: نام بخش سازمان (شیوه: سازمان)

سطر ۲: نام سازمان، مخفف نام سازمان قابل قبول است

سطر ۳: شهر، کشور

سطر ۴: نشانی ایمیل - اختیاری

نام نویسندگان عضو سازمان اول** (شیوه: نویسنده)

سطر ۱: نام بخش سازمان (شیوه: سازمان)

سطر ۲: نام سازمان، مخفف نام سازمان قابل قبول است

سطر ۳: شهر، کشور

سطر ۴: نشانی ایمیل - اختیاری

نام نویسندگان عضو سازمان سوم (شیوه: نویسنده)

سطر ۱: نام بخش سازمان (شیوه: سازمان)

سطر ۲: نام سازمان، مخفف نام سازمان قابل قبول است

سطر ۳: شهر، کشور

سطر ۴: نشانی ایمیل - اختیاری

مقاله این روش ها معرفی شده اند و نتایج و اثرات آنها با استفاده از شبیه سازی های انجام شده بر روی شبکه های قدرت نشان داده شده است.

واژه های کلیدی — تلفات شبکه، بهینه سازی شبکه، توابع تلفات، کنترل تلفات، سیستم های تولید پراکنده، پیکربندی مجدد سیستم، کاهش انشعاب، میکروگریدها

مقدمه

موضوع حداقل سازی تلفات شبکه توزیع توجه بسیاری را به خاطر قیمت بالای انرژی الکتریکی به خود جلب کرده. بنا براین تحقیق پیش رو بر روی اتوماتیک سازی شبکه توزیع بر روی حداقل سازی تلفات شبکه با استفاده از

چکیده — امروزه در شبکه های برق مسئله ی تلفات از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. از نظر اقتصادی و بهره وری سیستم ها میتوان راههای عملی و تئوری گوناگونی برای کاهش مقدار تلفات ارائه کرد. در این مقاله روش های مختلفی که امروزه در دنیا برای حداقل کردن تلفات و محاسبات لازم برای آن انجام می شود مورد بررسی قرار گرفته است. روش هایی مانند تخمین یک تابع تلفات و حداقل سازی آن، استفاده از DGها، خازن گذاری، کاهش انشعاب ها، تکنیک های الکترونیکی، میکروگرید ها، تزریق جریان، کنترل حلقه بسته و پیکربندی مجدد شبکه از جمله روش های موجود برای کاهش تلفات هستند که هر کدام به کاهش تلفات کمک کرده و کارایی سیستم را بهبود می بخشند. در این

[4] Peschon et al. روشی برای بهینه سازی غیر خطی برای توصیف توان بهینه ارائه کرده اند. آنها تابع غیر خطی مورد نظر را که ضرب هزینه و تلفات با استفاده از شرایط کن تا کر هستند حداقل سازی کردند.

[5] Dommel and Tinney روشی بهینه سازی غیر خطی برای توصیف توان بهینه ارائه کردند.

[6] Savulescu روشی برای توصیف حساسیت تلفات، توان راکتیو ارسالی و پایداری حالت ماندگار ارائه کرد. براساس این بیانات، او یک روش جستجوی مناسب برای رسیدن به شرایط بهینه ی سیستم ارائه کرد.

[7] Narita and Hammam از آنالیز حساسیت توان سیستم برای یک روش بهینه سازی که روش جعبه نامیده می شود برای حداقل سازی ولتاژ به مقدار مورد نظر است. [8] Shoults and Chen روشی برای پیدا کردن مقدار های بهینه ی تپ های ترانسفورمر ها و ولتاژ ترمینال های ژنراتور ها پیدا کردند. هرچند این روش ها برای برنامه ریزی بهینه کاملا مناسب نیستند.

بیان مسئله

پخش توان راکتیو در یک شبکه قدرت برای افزایش پروفایل های ولتاژ سیستم و حداقل سازی تلفات توان اکتیو ضروری است. پخش توان راکتیو در سیستم را میتوان توسط اپراتور سیستم با تنظیم متغیر های قابل کنترل تغییر داد:

- تپ های ترانسفورمر ها
- ولتاژ ترانسفورمر ها
- خازن ها و سلف های قابل سویچ

این متغیر های کنترلی دارای محدودیت های بالا و پایین خود هستند. هر تغییری در این متغیر ها تاثیر خود را سیستم و پروفایل ولتاژ و تلفات توان خواهد داشت. پس کنترل های اپراتور بر روی این متغیر های حالت به صورت غیر مستقیم توسط قید های سیستم محدود می شود. این قید ها به ویژگی های سیستم بستگی دارند. به صورت همزمان برآورده کردن قید های شبکه و محدودیت های قید ها بر روی متغیر های حالت انجام می شود.

روش

روش ارائه شده تخصیص توان راکتیو را فرمول بندی می کند به این صورت که گسترشی از روش پخش با نیوتن رافسون است. مشهورترین روش شناخته شده برای حل معادلات غیر خطی روش نیوتن رافسون می

پیکربندی مجدد شبکه انجام شده. در کنار در نظر گیری های اقتصادی، افزایش تلفات منجر به افزایش حرارت سیستم های الکتریکی و در نتیجه آسیب رسیدن به آنها شود. با کاهش تلفات توان سیستم ممکن است عمر بیشتری پیدا کند و قابلیت اطمینان آن افزایش پیدا کند. بنابراین حداقل سازی تلفات در سیستم های توزیع قسمت عمده ای از تحقیق های حال حاضر شده است.

اپراتور های سیستم های قدرت کیفیت و پایداری منابع را برای مصرف کنندگان با استفاده از ولتاژ باس بار های مصرفی در محدوده معین شان تضمین می کنند. هر تغییر در ویژگی های سیستم یا در درخواست توان مصرفی میتواند منجر به افزایش یا کاهش ولتاژ سیستم شود. این وضعیت را میتوان توسط اپراتور با استفاده از ژنراتور های توان راکتیو در سیستم بهبود داد. به بیان دیگر با استفاده از تغییر تپ ترانس ها، تغییر ولتاژ ژنراتور ها و با استفاده از سویچ کردن منابع AVR. همچنین ممکن است تلفات سیستم را با استفاده از پراکنده ساز های توان راکتیو در شبکه حداقل کرد. پس دو کار اساسی وجود دارد:

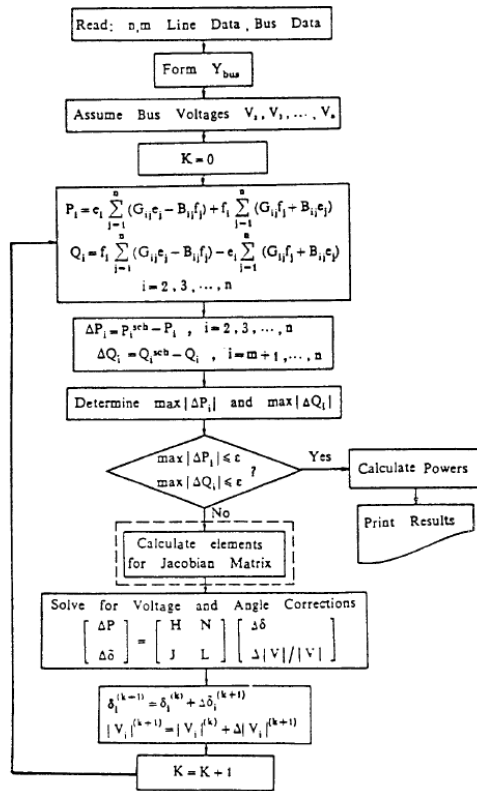
۱. افزایش پروفایل های ولتاژ
۲. حداقل کردن تلفات سیستم

یک ابزار برای کمک به اپراتور سیستم برای کنترل بهتر این متغیر ها در اینجا بیان شده است. در گذشته بسیاری از روش های مبتنی بر حساسیت روابط و روش های جستجویی برای حل این مشکل به وجود آمده بودند.

[1] Peschon et al. روابط حساسیت هزینه و پخش بار را برای بهینه سازی توان اکتیو و راکتیو در سیستم ارائه کرد. آنها همچنین یک تقریب خطی برای این بهینه سازی و حداقل سازی هزینه تولید ارائه نمودند.

[2] Dopazo et al. یک روش حداقل سازی هزینه تولید با استفاده از تخصیص توان حقیقی و مختلط در شبکه ارائه کرد. فرآیند در ابتدا پایش توان اکتیو را بر اساس ضرایب لاگرانژ توصیف می کند و سپس سعی می کند که توان حقیقی اختصاص داده شده را بهینه کند که این کار با استفاده از روش گرادیان انجام می شود.

[3] Hano et al. روش کنترلی برای کنترل ولتاژ سیستم ارائه کرده اند. آنها رابطه ی حساسیت لازم بین متغیر های کنترل شده و کنترلی را تعریف کردند و سپس با یک تکنیک جستجو برای کاهش تلفات سیستم ارائه کرده اند.



شکل ۱. نمودار الگوریتم

در روش نیوتن رافسون تعداد تکرارها برای رسیدن به جواب کم تر است. تعداد تکرارها به تعداد باسها بستگی ندارد و سرعت رسیدن به جواب زیاد است. این روش پایدار است و بیشتر اوقات همگرا می شود و جوابهای بدست آمده دقیق تر می باشد.

معکوس ماتریس ژاکوبین ماتریس حساسیت نامیده می شود. با استفاده از المان های موجود در ماتریس حساسیت میتوان تابع خطی لازم را برای قید های شبکه در قالب متغیرها بیان نمود.

تابع هدف

هدف حداقل سازی تلفات توان اکتیو است. در سیستم با کنترل ولتاژ ژنراتورها تپ ترانسها و منابع AVR میتوان این کار را انجام داد. تغییرات توان به حالت متغیرهایی که به صورت زیر داده شده اند مرتبط است

$$\Delta P_L = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_L}{\partial t_{pq}} & \frac{\partial P_L}{\partial V_1} & \frac{\partial P_L}{\partial V_2} & \dots & \frac{\partial P_L}{\partial V_m} & \frac{\partial P_L}{\partial Q_{m+x}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta t_{pq} \\ \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \\ \vdots \\ \Delta V_m \\ \Delta Q_{m+x} \end{bmatrix} \quad (5)$$

باشد. در این روش با یک حدس اولیه شروع می کنیم، سپس سری تیلور را برای معادلات نوشته و از ترم های درجه بالا صرف نظر می کنیم. نتیجه این کار تبدیل شدن سیستم غیر خطی به یک سیستم خطی بصورت زیر می باشد:

$$\begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = -J^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (1)$$

که ΔP و ΔQ از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\Delta P_i = -P_i + \sum_{k=1}^N |V_i| |V_k| (G_{ik} \cos \theta_{ik} + B_{ik} \sin \theta_{ik}) \quad (2)$$

$$\Delta Q_i = -Q_i + \sum_{k=1}^N |V_i| |V_k| (G_{ik} \sin \theta_{ik} - B_{ik} \cos \theta_{ik})$$

و ماتریس ژاکوبین از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$J = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix}$$

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta P}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta P}{\partial |V|} \\ \frac{\partial \Delta Q}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta Q}{\partial |V|} \end{bmatrix} \quad (3)$$

مقادیر اندازه ولتاژ و زاویه برای تکرار بعد از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\theta^{m+1} = \theta^m + \Delta \theta$$

$$|V|^{m+1} = |V|^m + \Delta |V| \quad (4)$$

این تکرارها تا جایی ادامه پیدا می کنند که ΔP و ΔQ کوچکتر از عدد کوچکی شوند. فلوجارت روش نیوتن رافسون را در شکل زیر می توانید ببینید:

tper unit v2	1.100	1.150	1.100	1.150	1.100	1.075	1.100	1.025
VAR Sources Q4	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	5.00
(MVAR) Q	°0.00	5.50	0.00	5.50	0.00	5.50	0.00	5.50
Dependent Variables								
Generator Q	-20.00	100.00	37.07	36.33	4.72	7.07	-6.11	-0.45
React live								
Power (MVAR) Q2	-20.00	100.00	34.28	19.38	21.56	7.70	18.02	-0.17
Voltages of V3	0.900	1.000	0.858	1.000	0.935	1.000	0.966	1.001
Load Buses V	0.900	1.000	0.955	1.000	1.027	1.000	1.056	0.993
(per unit) 4								
V5	0.900	1.000	0.902	1.000	0.996	1.000	1.035	1.001
V 0	0.900	1.000	0.935	0.983	1.018	0.994	1.050	0.989
System Losses	--	--	11.45	8.93	3.06	2.24	1.31	0.56

قیود کارایی شبکه

قید هایی بر روی متغیر های وابسته ی شبکه وجود دارد. به بیان دیگر توان راکتیو ماشین ها و ولتاژ باس ها این محدودیت ها به شرح زیر هستند.

$$Q_i^{\min} \leq Q_i \leq Q_i^{\max} \quad \text{for } i = 1, 2, 3 \dots m \quad (2)$$

$$V_j^{\min} \leq V_j \leq V_j^{\max} \quad \text{for } j = m+1 \dots n \quad (3)$$

The inequalities of Equations (2) and (3) can be rewritten as

$$\Delta Q_i^{\min} \leq \Delta Q_i \leq \Delta Q_i^{\max} \quad \text{for } i = 1, 2, 3 \dots m \quad (4)$$

$$\Delta V_j^{\min} \leq \Delta V_j \leq \Delta V_j^{\max} \quad \text{for } j = m+1 \dots n \quad (5)$$

نامساوی ها ۴ و ۵ به عبارت متغیر هایی با پروسه ی زیر تعبیر شده اند. نامساوی های نیوتن رافسون برای ژنراتور مبنا و معادلات پخش بار برای تپ ترانس ها محاسبه شده اند. سپس دسته ای از معادلات به صورت زیر به دست می آیند.

حداقل سازی تلفات توان در شبکه های توزیع

با روش های مختلف

حداقل سازی دقیق مسئله ی بسیار مهمی برای توزیع مناسب برق است. به همراه این کار ها تولید های پراکنده DG و خازن های گذاری نیز تاثیر گذار است. مطالعه ی این مسئله در شبکه ی توزیع IEEE هند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از سیستم هندی نشان دهنده خروجی مناسب و قابل پیاده سازی برای شبکه های دیگر است.

سیستم توزیع قابل مشاهده ترین قسمت زنجیره ی تامین انرژی و در معرض خطر ترین، مطالعه ترین و نیازمند نگه داری زیاد است و مورد علاقه ی دولت، اقتصاد دانان و مردم است. حدود ۳۰ الی ۴۰ درصد تمام مطالعات در بخش الکترونیک به سیستم های توزیع معطوف شده است. اما همچنان نسبت به سیستم های توزیع و انتقال از تکنولوژی مناسب بهره مند نشده اند. بسیاری از شبکه های توزیع با حداقل رصد سازی کار می کنند که اساسا به خاطر کنترل های محلی خازن گذاری ها و سویچ ها و رگولاتور ها است که پشتیبانی کافی برای اپراتور را فراهم نمی کند.

همچنین علاقه ی زیادی به سیستم اتوماتیک توزیع به وجود آمده است چرا که قابلیت اطمینان سیستم بالا می رود.

به صورت ایده آل تلفات در یک سیستم الکتریکی باید حدود ۳ الی ۶ درصد باشد. در کشور های توسعه یافته از ۱۰ درصد بیشتر نیست. هر چند در کشور های در حال توسعه درصد تلفات توان اکتیو حدود ۲۰ درصد است. بنابراین کاهش تلفات توان اکتیو برای شبکه های توزیع اهمیت فراوانی دارد. در هند برای تمام استان ها، توان تلف شده حدود ۲۳ درصد بوده

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta P_{pq} \\ \Delta Q_1 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \theta} & \frac{\partial P}{\partial t_{pq}} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \frac{\partial P_{pq}}{\partial \theta} & \frac{\partial P_{pq}}{\partial t_{pq}} & \frac{\partial P_{pq}}{\partial V} \\ \frac{\partial Q}{\partial \theta} & \frac{\partial Q}{\partial t_{pq}} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \vdots \\ \Delta \theta_n \\ \Delta t_{pq} \\ \Delta V_1 \\ \vdots \\ \Delta V_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

قیود محدود کننده متغیر های حالت. برای تپ ترانسفورمر ها و ولتاژ ژنراتور ها داریم:

$$\begin{bmatrix} \Delta t_{pq}^{\min} \\ \Delta V_i^{\min} \\ \Delta Q_{m+x}^{\min} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} \Delta t_{pq} \\ \Delta V_i \\ \Delta Q_{m+x} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} \Delta t_{pq}^{\max} \\ \Delta V_i^{\max} \\ \Delta Q_{m+x}^{\max} \end{bmatrix} \quad \text{for } i = 1, 2, 3 \dots m \quad (8)$$

نتایج بدست آمده برای شبکه

State Variables	Variable	Low	High	State	State	State	State	State	State
Transformer t65	0.900	1.100	1.025	0.956	1.025	0.980	1.025	0.975	
Taps t43	0.900	1.100	1.100	0.981	1.100	0.991	1.100	0.986	
Generator V1	1.000	1.100	1.050	1.092	1.050	1.029	1.050	1.000	

$$P_{Loss} = \sum_{i=1}^{n} b r |I_i|^2 r_i$$

$$Q_{Loss} = \sum_{i=1}^{n} b r |I_i|^2 x_i$$

(10)

برای بالا بردن ولتاژ و کنترل بهتر توان راکتیو سیستم های توزیع با استفاده از سیستم های کنترلی بسیار زیادی مانند تنظیم کننده های شبکه، ترانسفورمر های DG و تب چنجر های ترانسفورمر ها تجهیز شده اند.

نتایج آزمایش ها

بازنشانی فیدر

مسئله ی بازنشانی شبکه توزیع تحت فعالیت عادی برای کاهش تلفات و متعادل کردن بار در سیستم در نظر گرفته می شود. عموماً شبکه های توزیع شعاعی در نظر گرفته می شوند. در اینجا شبکه توزیع Tamil Nadu Electricity Board [TNEB] 11KV بعنوان مثال مورد بررسی قرار گرفته تا با استفاده از نرم افزار ETAP تحلیل شود.

سیستم پیشنهاد شده

برای بررسی سیستم پیشنهادی در هنگام اوج مصرف و با در نظر گرفتن طول خط و تنظیم HT پست با ۵ فیدر سیستمی برای تحلیل در ETAP طراحی شد. دیده شد که بهره وری کلی سیستم افزایش یافته است. منبع HV از فیدر اصلی قطع می شود و یک فیدر جایگزین تنها وقتی استفاده می شود که فیدر اصلی بنا بر هر دلیلی خاموش می شود در این هنگام منبع باید به صورت مداوم به مصرف کننده توان تحویل دهد.

استفاده از DG

تولید پراکنده تولید برق در مقایسه کوچک و محلی است. بر اساس Distributed Power Coalition of America (DPCA)، نشان داده شده که میتوان حدود ۲۰ درصد ک مصرف را به این روش تولید کرد. در این پژوهش آنالیز حساسیت برای توصیف اندازه ی تقریبی نقطه کار DG ها برای حداقل سازی تلفات توان مورد بررسی قرار گرفته است.

است. برای تهیه یک برنامه کاهش تلفات سیستم در سیستم توزیع لازم است که ابزار های محاسباتی به خوبی به کار برده شوند تا تلفات توان کاهش یابد نویسندگان متعددی تلفات توان را از جنبه های مختلف مورد بررسی قرار داده اند.

برای اینکه کارایی سیستم توزیع افزایش پیدا کند فرایند بازنشانی برای بالا بردن قابلیت اطمینان پذیری سیستم مورد تحقیق قرار گرفت. با در نظر گرفتن بازنشانی فیدر برای کاهش تلفات که ابتدا توسط Merlin et al. [13] ارائه شد که از یک روش گسسته و تکنیک محدود کننده استفاده می کرد.

در این روش تمام سویچ های شبکه بسته شده اند تا یک سیستم مش بندی شده را تشکیل بدهند. سپس سویچ ها باز می شوند تا شبکه شعاعی شود. هر چند این روش شامل تقریب هایی می شود. Shirmohammadi et al. [14] الگوریتمی پیشنهاد کرد که به این تقریب ها غلبه کند. در این روش سویچ ها یکی پس از دیگری باز می شوند که بر اساس یک الگوی بهینه است. Peponis et al. [15] روشی برای اداره ی بهینه ی شبکه توزیع ارائه کرد. در این روش با استفاده از نصب خازن ها و بازنشانی شبکه تلفات توان حداقل می شود. Schmidt et al. [16] مسئله را به صورت یک مسئله بهینه سازی غیر خطی فرمول بندی کرد. Broadwater et al. [17] نیاز بار متغیر با زمان را در نظر گرفت و الگوریتمی برای کاهش تلفات ارائه کرد. Morton et al. [18] روشی بر اساس یک جستجوی بهینه کاهش تلفات ارائه کرد که از روش های گرافی استفاده می کند. M.W. Siti et al. [19] تکنیکی برای سطوح کم ولتاژ و ولتاژ بالا شبکه توزیع ارائه کرد. K.Amaresh et al. [31] روش HVDC با ترانسفورمر های ظرفیت کم ارائه کرد. روش پخش بار ساده ای که برای شبکه های شعاعی مورد استفاده قرار گرفته است. در منابع ۳۳ الی ۳۵ نویسندگان با استفاده از پخش بار به محاسبه و بهینه سازی تلفات توان پرداخته اند.

تلفات در سیستم های توزیع برق

تلفات توان به خاطر متغیر های فراوانی قابل تغییر است. تلفات توان را میتوان به دو دسته تقسیم کرد «تلفات توان حقیقی و تلفات توان راکتیو. مقاومت خطوط موجب تلفات خطوط می شود. در حالی که تلفات توان راکتیو به خاطر المان های راکتیو تولید می شود. عموماً تلفات توان راکتیو نیز حائز اهمیت است چون که اساساً توان راکتیو بستر را برای انتقال توان اکتیو در خطوط و سیستم های انتقال توان فراهم میکند.

جایگذاری خازن

در این روش با استفاده از خازن گذاری و تامین توان راکتیو تلفات سیستم کاهش می یابد. در این مقاله محل و اندازه ی خازن برای کاهش تلفات خط مورد بررسی قرار گرفته تا اینکه تلفات توان راکتیو کاهش پیدا کند. با استفاده از نرم افزار ETAP این اندازه و محل به دست آمده است.

روشی جدید برای پیکربندی مجدد سیستم های

توزیع برای حداقل سازی تلفات

پیکربندی است. در این مقاله یک روش پیکربندی فیدر سیستماتیک ارائه می کند که یک روش سویچینگ بهینه بری رسیدن به بیشترین مقدار کاهش تلفات توان در یک شبکه توزیع است. این روش فیدر های توزیع را از نوع بازسازی میکند که این کار با استفاده از حالات باز و بسته ی بخش بندی ها و سویچ ها انجام می شود. یک روش درخت جستجو در این مقاله ارائه شده که عملیات سویچینگ ممکن را که بیشترین مقدار کاهش تلفات را به دست میدهد را تشخیص می دهد. یک فرمول تغییر تلفات بدست آمده که تلفات را خیلی زیاد کاهش می دهد. روش پیشنهادی می تواند بهترین حالت های سویچ را تشخیص دهد و به حداقل تلفات برسد. کارایی روش پیشنهادی توسط یک سیستم ۳۳ باس مورد بررسی قرار گرفته و با روش های Baran و Wu مورد مقایسه قرار گرفته است. (مطالعاتی برای پیکربندی مجدد شبکه برای کاهش تلفات و متعادل سازی بار)

پیکر بندی مجدد فیدر برای حداقل سازی تلفات در شبکه های توزیع با تشخیص تغییر وضعیت بخش بندی ها و سویچ ها مشخص می شود. بیشتر شبکه های توزیع با تغییر حالت شبکه تغییر می کنند به نحوی که قابلیت اطمینان باید ثابت بماند. شرایط بهینه ی شبکه های توزیع وقتی به دست می آید که تلفات حداقل شده باشند بدون اینکه ولتاژها و بارها تغییر کرده باشند.

بنابراین پیکر بندی مجدد فیدر انجام می شود تا تلفات توان حقیقی را تمام حالت های سیستم کاهش دهد. [4,10] دو نوع سویچ در سیستم وجود دارد. یکی به صورت عادی بسته که به خطوط وصل هستند و دیگری سویچ های حالت عادی باز که به فیدر های زیر مجموعه یا پست ها متصل اند.

تغییر در شرایط پیکربندی سیستم با بازکردن یا بستن این دو نوع سویچ به نحوی که شعاعی بودن شبکه حفظ شود انجام می شود. خطوط توزیع یا انتقال ویژگی ها مختلفی از خود بروز می دهند. به نحوی که هر کدام دارای نوع تجاری و صنعتی و ... هستند. این به خاطر این حقیقت است که بعضی قسمت های شبکه ی توزیع بعضی اوقات به صورت خیلی زیادی بار دارند و بعضی وقت ها بار خیلی کم است. بنابراین با تغییر بارها در سیستم، ساختار شعاعی فیدر ها میتواند اصلاح شود تا جریان بارها دوباره برنامه ریزی شود و تلفات کمتر شود.

[31] Wagner et al. ثابت کرده که روش های برنامه نویسی خطی استفاده شده برای برنامه ریزی سیستم برای کاهش تلفات نامناسب هستند. [35] Aoki et al. یک روش برنامه نویسی برای حل مسئله حداقل سازی ارائه کرد که در آن مسئله به صورت یک ترتیب زیر مسئله ها حل می شد که مقید به قیود مسئله اصلی بودند. [36] Glanmocanin مدل های خطی با تابع هزینه برای پیدا کردن حداقل شعاع چرخش برای رسیدن به پیکر بندی بهینه ی سیستم با حداقل تلفات پیشنهاد کرد. [37] Liu et al. دو الگوریتم که شرایط بهینه برای پیکربندی مجدد فیدر ها را فراهم میکردند پیشنهاد کرد. [38] Civanlar et al. روش پیکربندی مجدد خوبی برای کاهش تلفات ارائه کرد. یک فرمول ساده بر اساس برخی فرض های ساده ساز از تخمین های زده شده در مورد تلفات با حداقل محاسبات بدست می آید.

در این مقاله روش جدیدی برای پیکر بندی مجدد فیدر ها ارائه شده که بر اساس روش حل ارائه شده توسط [29] Wu می باشد. مقاله روش حداقل جستجو-درخت را برای پیدا کردن حالت های سویچ زنی برای کاهش تلفات را بیان می کند. یک فرمول ساده ی تغییر تلفات به وجود آمده تا تغییرات سویچ ها را برای بیشترین کاهش تلفات پیدا کند. روش ارائه شده برای پیدا کردن مقدار کارآمد و گرفتن حداقل تلاش محاسباتی برای بدست آوردن جواب یا حداقل نزدیک آن با پیکر بندی مجدد است.

فرمول بندی مسئله کاهش تلفات

پیکربندی مجدد فیدر با تغییر دادن حالت های باز/بسته ی بخش ها و سویچ ها انجام می شود. سیستم به خاطر دلایل مختلفی از نو پیکر بندی می شود. در پیکربندی مجدد سیستم تمام فیدر یا قسمتی از آن به فیدر دیگر منتقل می شود. مسئله حداقل سازی توان که در این مقاله اشاره شده است برای توصیف نحوه ی باز و بسته کردن این حالات است.

۳. مقدار کاهش تلفات حساب شود

۴. لیستی از حالات سویچ تامین شود

۵. بهترین حالت های سویچ انتخاب شود

۶. اگر تمام قید ها برآورده شده اند به مرحله ی ۸ برو اگر نه به مرحله

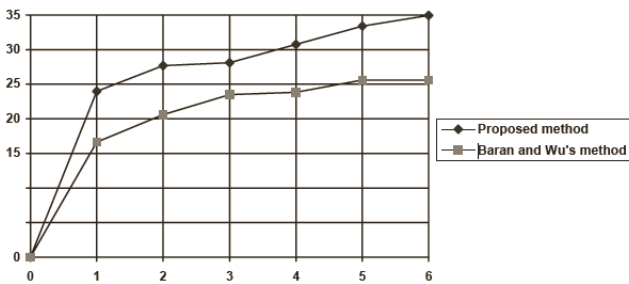
۷

۷. اگر امکان سویچ دیگری وجود دارد آن را انتخاب کن

۸. این حالت را برای تغییر سویچ انتخاب کن

۹. مراحل ۱ تا ۸ را تا هنگامی که هیچ حلقه ای در شبکه با مقدار تلفات نامی مثبت وجود ندارد تکرار کن .

سیستم بر روی شبکه ۳۳ باسه آزموده شد و نتایج زیر بدست آمده اند:



شکل ۲. نتایج شبیه سازی

یک فرمول بندی کلی برای پیکر بندی مجدد فیدر برای کاهش تلفات داده شده و روش حل جدید در این مقاله ارائه شده است. این روش ساده برای فرمول بندی محاسبه تغییرات تلفات در سیستم ارائه شده که با توجه به عملکرد سویچ است. این فرمول تا وقتی که سیستم دارای ولتاژ ثابت و پایدار است برقرار است. مزیت اصلی این فرمول آن است که نیاز به پخش بار برای هر عملکرد سویچ را از بین می برد. فرمول کاهش تلفات بر روی سیستم ۳۳ باسه آزموده شد و با نتایج مطلوبی مواجه گردید. این مسئله می تواند بیشتر مقدار کاهش تلفات در سیستم را به دست دهد. نتایج آزمایش ها نشان می دهد تلفات توان سیستم به حداقل رسیده است و ولتاژ شبکه ارتقا یافته و به صورت زیادی با استفاده از روش ارائه شده بهبود یافته است.

با داشتن مدل یک شبکه توان تلف شده در سیستم میتواند به صورت متغیر های سیستم توصیف شود . بنابر این ، تلفات توان در سیستم می تواند با متغیر های سیستم فرمول بندی شود و به صورت زیر نوشته شود.

$$LP = \min \sum_i^{N_b} r_i \left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \right) \quad (11)$$

روش ارائه شده برای تغییر یا کاهش شاخه

پیکربندی مجدد فیدر عملیات سویچینگ لازم برای رسیدن به شرایط حداقل تلفات را توصیف می کند. یک عملیات تغییر می تواند به تغییر شاخه یا تغییر در خط تعبیر شود. در این بخش ما فرمولی برای تغییر یا کاهش شاخه بیان می کنیم . تلفات توان در خطوط توزیع را میتوان از فرمول های زیر حساب کرد:

$$\text{Real power loss, } P_{\text{loss}i} = r_i(P_i^2 + Q_i^2)/V_i^2$$

$$\text{Reactive power loss, } Q_{\text{loss}i} = x_i(P_i^2 + Q_i^2)/V_i^2 \quad (12)$$

معادلات پخش بار برای شبکه توزیع به صورت زیر است

$$P_{i+1} = P_i - r_i(P_i^2 + Q_i^2)/V_i^2 - P_{L_{i+1}}$$

$$Q_{i+1} = Q_i - x_i(P_i^2 + Q_i^2)/V_i^2 - Q_{L_{i+1}}$$

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(r_i P_i + x_i Q_i) + (r_i^2 + x_i^2)(P_i^2 + Q_i^2)/V_i^2 \quad (13)$$

در نتیجه می توان تلفات را به صورت فرمول های زیر نوشت:

$$P'_{\text{loss}i} = r_i(P_i'^2 + Q_i'^2)/V_i'^2 = P_i' - P_{i+1}' - P_{L_{i+1}}'$$

$$Q'_{\text{loss}i} = x_i(P_i'^2 + Q_i'^2)/V_i'^2 = Q_i' - Q_{i+1}' - Q_{L_{i+1}}'$$

تکنیک حل

حلقه های کاهش با تعریف تلفات نامی در حلقه شناسایی می شوند. معادلات بیان شده به حلقه ها اعمال می شوند تا یک شاخه با یک ولتاژ پایین تر کار کند. گام های لازم برای تغییر شاخه ها جهت رسیدن به حداقل تلفات به صورت زیر هستند:

۱. برنامه پخش بار اجرا شود

۲. تلفات نامی برای حلقه ها بدست آورده شود

rms بین واحد های همسایه نیاز دارد. پس پیاده سازی آن برای EPP ها ساده و بهینه است.

با مقایسه با روش های حذف حلقه روش ارائه شده اجازه می دهد که با تعامل بین همسایه ها که تامین کننده های بارها هستند تلفات کمتر شود. علاوه بر این کنترل با مقاومت طبیعی تحت تاثیر قرار نمی گیرد.

روش حلقه ی کنترل ابتدا برای خطوط انتقال ساده و سپس برای شبکه های توزیع مشگرید پیاده سازی می شود. هدف های کنترل حداقل سازی تلفات در خطوط انتقال، استفاده حداکثر از انرژی های تجدید پذیر، انعطاف پذیری در استفاده از منابع انرژی و پایداری ولتاژ است.

بهینه سازی جریان

این بخش تلفات به وجود آمده در گره های فعال را بررسی می کند که در آنها منابع انرژی به EPP ها وصل هستند. هدف تعیین مقدار بهینه ی جریان گره های فعال که از طریق می توان تلفات را کم کرد می باشد. جریان I_k به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\dot{I}_k = \dot{I}_{AB} - \sum_{\ell=1}^k \dot{I}_{L\ell}. \quad (16)$$

مجموع تلفات توان به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_{ABloss} = \sum_{k=0}^K r \Delta_k |\dot{I}_k|^2 = \sum_{k=0}^K r \Delta_k \dot{I}_k \dot{I}_k^* \quad (17)$$

با ساده سازی می توان تلفات را بر حسب یک تابع از جریان نوشت.

بهینه سازی ولتاژ گره ها

یک بخش تولیدی یک مشگرید را در نظر بگیرید. که در آن N گره فعال هستند که مسیر های L و ولتاژ های U می توانیم ولتاژ گره را طوری حداقل کنیم که توان تلف شده توزیعی حداقل شود.

$$\dot{I}_N = \sum_{k=1}^K \dot{I}_{Nk} = \underbrace{\sum_{k=1}^K \dot{I}_{Nk}^{opt}}_{\dot{I}_N^{opt}} + \underbrace{\sum_{k=1}^K \frac{\dot{U}_N - \dot{U}_k}{Z_k}}_{\dot{I}_N^{circ}}. \quad (18)$$

جریان بهینه به بارهای متصل به آن بستگی دارد. اگر واحد ها دارای امپدانس های بر حسب واحد طول یکسان باشند میتوان نوشت:

حداقل سازی تلفات با کنترل حلقه ی رابط

الکترونیکی قدرت در میکروگرید های

مقاومتی

شبکه های میکروگرید هوشمند محدوده کاربرد های جدیدی برای الکترونیک قدرت به وجود آورده اند. در حقیقت هر منبع توزیع انرژی دارای یک پردازنده ی قدرت EPP است که تغییرات توان را با گرید کنترل می کند. اگر EPP ها به خوبی کار کنند تمام منابع انرژی قابل دسترس و منابع ذخیره ی انرژی می توانند به خوبی بهره برداری شوند که منجر به کاهش مقدار مصرف توان، افزایش کیفیت توان و افزایش ظرفیت واحد ها می شود. این قسمت نشان می دهد که حتی در مش های با ولتاژ پایین میکروگرید ها، جایی که الگوی الکتریکی توزیع پیچیده است، و منابع و بارها ممکن است در هر لحظه متغیر باشند، چنین عملیاتی می تواند انجام شود با استفاده از کنترل درست و انتخاب صحیح الگوریتم ها با استفاده از مخابرات بین EPP های مجاور. در عمل این بخش یک روش کنترل حلقه را توصیف می کند که به جستجوی اطلاعات و تکنولوژی مخابرات مرزی می پردازد.

با افزایش تعداد منابع انرژی تجدید پذیر و ذخیره ی انرژی در شبکه های برق مزیت های مختلفی برای شبکه های توزیع فراهم آمده است. در عمل، کارایی شبکه از نظر بازدهی، ماندگاری و انعطاف پذیری در تمام منابع گسترده توزیع انرژی DER ها بالا می رود. برای این هدف، پردازنده های الکترونیک قدرت EPP با تعامل با منابع انرژی و گرید میتوانند تلاش خوبی برای افزایش کارایی سیستم فراهم کنند. این نیازمند قابلیت سنکرونیزه شدن و همسان سازی ولتاژ و جریان های مرجع EPP های توزیع است. [43], [44] با کمک به بالا بردن کیفیت ولتاژ و به کار گیری بهینه ی منابع، بهره وری سیستم و پاسخ دینامیکی تمام عملیات بهبود می یابد.

این بخش یک روش کنترل که نیازمند مخابرات محدود بین EPP های مجاور است و تلفات کمی دارد، از انرژی های تجدید پذیر حمایت می کند و به پایداری ولتاژ کمک می کند را بیان می کند. بر اساس این روش EPP ها ممکن است بتوانند در غیاب کنترلر هم کار کنند اما مخابرات محلی بر اساس PLC به وجود آمده تا کارایی بهتر شود.

برای جلوگیری از تداخل بین حلقه های کنترلی EPP های مجاور، یک روش حلقه مورد استفاده قرار گرفته است. [56], [57] که به ترتیب EPP های مختلف را فعال می کند. تکنیک ارائه شده ساده و فقط به جریان و ولتاژ

مفاهیم حلقه کنترل

$$\dot{U}_N^{\text{opt}} = \sum_{k=1}^K \frac{\dot{U}_k}{d_k} / \sum_{k=1}^K \frac{1}{d_k} \quad (19)$$

با روش حلقه کنترل، کنترل فاز هر EPP به صورت گردشی فعال می شود در زمانی که مرجع دوره های کمی داشته باشد. و سپس کنترل به EPP دیگر منتقل می شود. کنترل فاز میتواند دوره ثابتی داشته باشد و به صورت منظم تکرار شود.

حلقه کنترل از EPP شروع می شود که شامل اطلاعات مرجع، اطلاعات اندازه گیری و سایر ملزومات باشد.

در حالتی که مشگرید ها بررسی شوند. سختی بیشتری به خاطر آنکه الگوی توزیع کلی نامعلوم است اضافه می شود.

حداقل سازی تلفات توان در سیستم توزیع با

استفاده از پیکربندی مجدد شبکه در حضور

تولید های پراکنده

این قسمت روشی جدید برای حل مسئله پیکربندی مجدد سیستم در حضور تولید های پراکنده را با هدف حداقل سازی تلفات توان حقیقی و بالا بردن پروفایل ولتاژ انجام می دهد. یک الگوریتم متاهریوستیک جستجوی هارمونیک (HSA) به صورت همزمان برای تشخیص و تعیین مکان های بهینه ی نصب DG ها عمل می کند. سناریو های مختلفی برای جایگذاری DG ها و پیکربندی های مجدد شبکه در نظر گرفته شده اند تا کارایی سیستم با روش ارائه شده بهبود پیدا کند. قید های ولتاژ و جریان شاخه در ارزیابی های تابع هدف اضافه شده اند. این روش روی سه سطح بار مختلف برای نشان دادن کارایی و تاثیر گذاری روش بیان شده آزموده شده است.

بخاطر غیر ضروری بودن برخی بار ها روی فیدر ها که در طی زمان تغییر می کنند، راه اندازی و کنترل سیستم توزیع در عمل بیشتر پیچیده تر از جاهایی است که در آنها تراکم بار بالاست. تلفات توان در یک شبکه توزیع با یک پیکربندی ثابت برای تمام حالت ها و بارها حداقل نخواهد شد. چرا که نیاز برای پیکربندی مجدد شبکه در هر مقطع زمانی وجود دارد. پیکربندی مجدد سیستم فرآیندی است که در آن ساختار توپولوژی فیدر ها توسط باز و بسته کردن مقسم ها و سویچ ها تغییر پیدا می کند. عموماً شبکه ها برای کاهش تلفات پیکربندی مجدد می شوند. هرچند به خاطر طبیعت دینامیکی بارها مجموع بارهای سیستم بیشتر از تولید آن است که باعث می شود فیدر ها نتوانند پروفایل ولتاژ را در سطح خواسته شده نگه دارند. برای تامین سطح

اگر تمام گره ها ولتاژ خود را کنترل کنند در حالت گذار و ماندگار تمام جریان های گردشی از بین می روند و در نتیجه تلفات بسیار کم خواهد شد.

تکنیک های کنترل محلی

با روش های حلقه ی کنترلی هر EPP در مشگرید یک فاز کنترلی وارد می کند که این کار در طول زمانی که جریانش در حال تنظیم است انجام می شود و در این زمان EPP نقش یک منبع جریان را دارد. در فاز کنترل EPP جریان مرجع را با در نظر گرفتن موارد زیر تنظیم می کند.

۱. جریان اکتیو مرجع برای استفاده حداکثر از منابع تجدید پذیر باید باشد

۲. جریان راکتیو مرجع باید برای کاهش تلفات و بالا بردن پایداری ولتاژ تنظیم شود.

این ملزومات با روش کنترلی بیان شده برآورده می شوند.

تزریق جریان بهینه

وقتی EPP در یک گره شروع به تنظیم فاز می کند ابتدا از نقاط اطراف اطلاعات می گیرد. سپس با استفاده از امپدانس و جریان های چرخشی جریان وارد شده به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\dot{I}_N^{\text{circ}} = \sum_{k=1}^K \frac{\dot{U}_N - \dot{U}_k}{\dot{Z}_k} \quad (20)$$

سپس جریان بهینه به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\dot{I}_N^{\text{opt}} = \dot{I}_N - \dot{I}_N^{\text{circ}} \quad (21)$$

دنبال کردن بهینه ی ولتاژ

با این تکنیک وقتی EPP در حال تنظیم فاز است، اطلاعات ولتاژ را از گره های اطراف دریافت می کند و مقدار ولتاژ EPP را تنظیم می کند. اگر U و I به ترتیب ولتاژ و جریان گره باشند آنگاه داریم:

$$\dot{U}_N = U_N^o + \dot{Z}_{\text{eq}} \Delta \dot{I}_N \quad (22)$$

این روش کنترلی ممکن است باعث شود ولتاژ برخی گره ها پایین بیاید.

$$\begin{aligned} \text{Maximize } f &= \max. (\Delta P_{Loss}^R + \Delta P_{Loss}^{DG}) \\ \text{Subjected to } & \left. \begin{aligned} V_{\min} \leq |V_k| \leq V_{\max} \\ \text{and } |I_{k,k+1}| \leq |I_{k,k+1,\max}| \\ \sum_{k=1}^n P_{Gk} \leq \sum_{k=1}^n (P_k + P_{Loss,k}) \\ \det(A) = 1 \text{ or } -1 \text{ (radial system)} \\ \det(A) = 0 \text{ (not radial)} \end{aligned} \right\} \end{aligned} \quad (24)$$

بازبینی الگوریتم جستجوی هارمونیک

الگوریتم HSA یک روش الگوریتم جستجو است که توسط Geem *et al.* [68] ارائه شده است. Das *et al.* [69] روشی برای بسیاری از مسائل به خوبی نشان می دهد. HSA از طبع موزیسین ها الهام گرفته شده است. این الگوریتم در مفهوم ساده، در پارامتر کم و دارای پیاده سازی راحت است.

مراحل الگوریتم HSA:

۱. مسئله و الگوریتم را شروع کن
۲. حافظه ی هارمونی را شروع کن
۳. یک هارمونی جدید به وجود بیاور
۴. حافظه هارمونی را به روز کن
۵. شرایط اتمام را بررسی کن

کاربرد الگوریتم HSA برای کاهش تلفات

سیستم توزیع

چون هر دو مسئله ی نصب DG و پیکربندی مجدد سیستم مسائل بهینه سازی پیچیده ای هستند بسیاری از نویسندگان با استفاده از تکنیک های بهینه سازی آنها را حل می کنند. در این بخش هر دو با استفاده از HSA تحلیل شده اند.

برای پیکر بندی مجدد سیستم تمام ساختار های شعاعی ممکن شبکه داده شده در نظر گرفته می شوند. سپس حل بدست آمده با توجه به بردار حل محاسبه می شود.

برای ساده سازی انتخاب DG به عنوان اولیه، حساسیت باس های کاندید مرتب می شود به نحوی که بیشترین حساسیت انتخاب شده و DG نصب می شود.

خواسته شده ی بار، واحد های DG در شبکه توزیع قرار داده شده اند تا پروفایل ولتاژ را افزایش دهند.

[54] Merlin and Back اولین بار پیکربندی مجدد شبکه را ارائه کرد. [56] Civanlar *et al.* یک الگوریتم هسریستیک پیشنهاد کرد که در آن یک فرمول ساده بیان شده بود که تلفات توان را بیان می کرد ارائه داد. [59] Zhu یک الگوریتم ژنتیک بازسازی شده برای کاهش تلفات در شبکه توزیع پیشنهاد داد. [62] Celli *et al.* یک الگوریتم چند وجهی ژنتیک برای تنظیمات و اندازه بندی DG ها در سیستم توزیع پیشنهاد داد. [64] galgaonkar *et al.* جایگذاری و تعیین سطح DG ها تحت قالب SMD را بیان کرد.

فرمول بندی مسئله

توان تلف شده در خط متصل به باس k و $k+1$ م به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_{Loss}(k, k+1) = R_k \cdot \frac{(P_k^2 + Q_k^2)}{|V_k|^2} \quad (21)$$

توان تلف شده مجموع فیدر به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_{T, Loss} = \sum_{k=1}^n P_{Loss}(k, k+1) \quad (22)$$

کاهش تلفات با استفاده از نصب DG ها

نصب ژنراتور های تولید پراکنده در محل های بهینه ی سیستم توزیع چندین مزیت دارد. این مزیت ها شامل کاهش تلفات خطوط افزایش پروفایل و پایداری ولتاژ و کاهش خاموشی است. تلفات توان وقتی که یک DG در یک مکان موقت نصب شده است به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\begin{aligned} P_{DG, Loss} &= \frac{R_k}{V_k^2} (P_k^2 + Q_k^2) \\ &+ \frac{R_k}{V_k^2} (P_G^2 + Q_G^2 - 2P_k P_G - 2Q_k Q_G) \left(\frac{G}{L} \right) \end{aligned} \quad (23)$$

تابع هدف مسئله

تابع هدف به نحوی طراحی شده تا بیشترین مقدار کاهش تلفات به دست بیاید. این تابع به صورت زیر داده شده است.

سازی فرآیند پیکربندی مجدد و نصب DG ها استفاده شده است. روش های ارائه شده بر روی سیستم های ۳۳ و ۶۹ باس در سه سطح بار آزمایش شده اند. نتایج شبیه سازی نشان می دهند که پیکربندی مجدد شبکه همزمان با نصب DG ها در مقایسه با سایر روش ها بیشتر کارآمد هستند، پروفایل ولتاژ را افزایش و تلفات را کاهش می دهند. تاثیر تعداد مکان های نصب DG ها بر روی کاهش تلفات توان در سطوح باری مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهند که درصد تلفات توان از یک به چهار افزایش یافته است. اما نرخ افزایش کاهش پیدا کرده است. هرچند نسبت درصد تلفات به اندازه DG وقتی که تعداد مکان ها سه باشد حداکثر است. نتایج بدست آمده از HSA با نتایج الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ژنتیک اصلاح شده مقایسه شدند و این نتایج نشان می دهند که بهره وری HSA از GA و RGA بیشتر است.

قدردانی (عنوان ۵)

در این بخش لازم است از افرادی که در به ثمر رسیدن پژوهش شما نقش داشتند، تقدیر کنیم.

در این مجال واجب می دانیم از استاد راهنمای بزرگوار جناب آقای دکتر ... نهایت سپاسگذاری و تقدیر را به عمل بیاوریم چرا که بدون حمایت ها و راهنمایی های ایشان این مهم قابل انجام نبوده و در سایه الطاف ایشان به این مرحله نایل شده ایم. از خداوند توفیق روز افزون برای این بزرگوار را خواستاریم.

منابع

- [1] J. Peschon, D. S. Piercy, W. F. Tinney, and O. J. Tveit, "Sensitivity in Power Systems." IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. 87, 1968, pp.1687-1696.
- [2] J. F. Dopazo, O. A. Klitin, G. W Stagg, and M. Watson, "An Optimization Technique for Real and Reactive Power Allocation." Proceedings of the IEEE, 1967, pp. 1877-1885.
- [3] I. Hano, Y. Tamura, S. Narita, and K. Matscemoto, "Real Time Control of System Voltage and Reactive Power." IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, 1969, pp. 1544-1558.
- [4] J. Peschon, D. S. Piercy, W. F. Tinney, O. J. Tveit, and M. Cuenod, "Optimum Control of Reactive Power Flow." IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. 87, 1968, pp. 4048.
- [5] H. W. Dommel and W. F. Tinney, "Optimal Power Flow Solutions." IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. 87, 1968, pp. 1866-1876.
- [6] S. C. Savulescu, "Qualitative Indices for the System Voltage and Reactive Power Control." IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. 95, 1976, pp.1413-1421.
- [7] S. Narita and M. S. A. A. Hammam, "A Computational Algorithm for Real-Time Control of System Voltage and Reactive Power, Parts I & II." IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. 90, 1971, pp. 2495-2508.
- [8] R. R. Shoults and M. S. Chen, "Reactive Power Control by Least Squares Minimization." IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. 95, 1976, pp. 325-334.

کاربرد HSA برای پیکربندی مجدد سیستم و نصب DG بر روی سیستم ۳۳ باس شعاعی بررسی ده و در این سیستم ۵ سویچ باز وجود دارد که حلقه های متناظر خود را دارند.

برای نشان دادن توپولوژی بهینه شبکه، تنها مکان سویچ هایی که در شبکه توزیع لازم هستند نگه داشته می شود که با N نشان داده شده است. سپس طول مسئله پیکربندی مجدد برابر N خواهد بود. به صورت مشابه، طول دومین قسمت از حل برداری است با تعداد باس های کاندید که انتخاب شده اند که در آنها DG نصب شود.

تمام بردار های حل مشابه بدون به هم زدن ساختار شعاعی ساخته می شوند و سپس تعداد این بردارها (HMS) کوچک تر یا مساوی تعداد سویچ ها در هر حلقه ی منفرد است.

مجموع مارتیس هارمونی که به صورت زیر نشان داده شده است با توجه به تابع هدف به صورت زیر بیان شده است:

$$HM = \begin{bmatrix} os_1^1 & os_2^1 & os_3^1 & os_4^1 & os_5^1 & S_1^1 & S_2^1 & S_3^1 \\ os_1^2 & os_2^2 & os_3^2 & os_4^2 & os_5^2 & S_1^2 & S_2^2 & S_3^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ os_1^H & os_2^H & os_3^H & os_4^H & os_5^H & S_1^H & S_2^H & S_3^H \end{bmatrix} \quad (25)$$

نتیجه گیری

جنبه های مختلف تلفات توان در این سیستم توزیع مورد بررسی قرار گرفت. از سیستم های عملی و آزمایشی ارائه شده میتوان نتیجه گرفت که تلفات توان کاهش یافته است و تنظیم ولتاژ انجام شده است. این به صورت گسترده تر قابل اجرا برای سیستم های پیچیده تر می باشد.

یک روش حلقه ی کنترل برای اجرا با استفاده از EPP ها که رابط منابع انرژی با گرید هستند ارائه شد. اجرای این مهم نیازمند امکان برقرار ارتباطات و مخابرات محلی است. روش های مختلفی را میتوان برای بهینه کردن کارایی شبکه استفاده کرد. اما در هر حالت تکنیک کنترلی ارائه شده حداقل تلفات توان، حداکثر استفاده از تمام ظرفیت ها و پشتیبانی خوب محلی را به دست می دهد. الگوریتم های کنترلی ارائه شده ساده هستند. اندازه گیری های محلی همگرا و تنها مخابرات ساده بین EPP های مجاور لازم است.

در قسمت آخر یک روش جدید بیان شد که در آن واحدهای DG از نو پیکربندی و نصب می شوند که در سیستم توزیع به صورت همزمان کار کنند. علاوه بر این روش های مختلف کاهش تلفات نیز همچنین مورد بررسی قرار گرفتند تا کارایی روش پیشنهادی نشان داده شود. یک روش HSA برای بهینه

- [29] Baran ME, Wu FF. Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing. *IEEE Trans Power Delivery* 1989;4(2):1401-7.
- [30] Kashem MA, Moghavvemi M, Mohamed A, Jasmon GB. Loss reduction in distribution networks using new network reconfiguration algorithm. *Electric Machines and Power Syst* 1998;26(8):815-29.
- [31] Wagner TP, Chikhani AY, Hackam R. Feeder reconfiguration for loss reduction: an application of distribution automation. *IEEE Trans Power Delivery* 1991;6(4):1922-33.
- [32] Juricek MJ, Fukutone A, Chen MS. Transportation analysis of an electric power distribution system. *IEEE Trans Power Apparatus Syst* 1976;PAS95(3):758 A76-052-1.
- [33] Wall DL, Thompson GL, NorthcoteGreen JED. An optimization model for planning radial distribution networks. *IEEE Trans Power Apparatus Syst* 1979;PAS98(3):1061-8.
- [34] Merlin A, Back G. Search for a minimum loss operational spanning tree configuration for an urban power distribution system. In: *Proceedings of the Fifth Power System Conference (PSCC)*, Cambridge, 1975. p. 1-18.
- [35] Aoki K, Ichimori T, Kanezashi M. Normal state optimal load allocation in distribution systems. *IEEE Trans Power Delivery* 1987;PWRD2(1):147-55.
- [36] Glamocanin V. Optimal loss reduction of distribution networks. *IEEE Trans Power Syst* 1990;5(3):774-81.
- [37] Chen-Ching L, Lee SJ, Vu K. Loss minimization of distribution feeders: optimality and algorithms. *IEEE Trans Power Delivery* 1989;5(2):1281-9.
- [38] Civanlar S, Grainger JJ, Yin H, Lee SSH. Distribution feeder reconfiguration for loss reduction. *IEEE Trans Power Delivery* 1988;3(3):1217-23.
- [39] Jasmon GB, Lee LHCC. Maximum voltage stability in distribution networks via loss minimization. *Electrical Power Energy Syst* 1993;13(3):148-52.
- [40] J. Driesen and R. Belmans, "Distributed generation: Challenges and possible solutions," in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meeting*, 2006, pp. 1-8.
- [41] H. Farhangi, "The path of the smart grid," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 8, no. 1, pp. 18-28, Jan./Feb. 2010.
- [42] J. M. Carrasco, L. G. Franquelo, J. T. Bialasiewicz, E. Galvan, R. C. Portillo Guisado, M. A. M. Prats, J. I. Leon, and N. Moreno-Alfonso, "Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: A survey," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 53, no. 4, pp. 1002-1016, Aug. 2006.
- [43] F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, and A. V. Timbus, "Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 53, no. 5, pp. 1398-1409, Oct. 2006.
- [44] P. Tenti, E. Tedeschi, D. Trombetti, and P. Mattavelli, "Compensation of load unbalance, reactive power and harmonic distortion by cooperative operation of distributed compensators," in *Proc. 13th Eur. Conf. Power Electron. Appl.*, 2009, pp. 1-10.
- [45] T.-L. Lee, C.-T. Lee, and P.-T. Cheng, "An autonomous harmonic filtering strategy for distributed energy resources converters in microgrid," in *Proc. 10th Brazilian Power Electron. Conf.*, 2009, pp. 19-25.
- [46] C. Yuen, A. Oudalov, and A. Timbus, "The provision of frequency control reserves from multiple microgrids," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 173-183, Jan. 2011.
- [47] A. Vaccaro, M. Popov, D. Villacci, and V. Terzija, "An integrate framework for smart microgrids modeling, monitoring, control, communication and verification," *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 1, pp. 119-132, Jan. 2011.
- [48] L. A. de Souza Ribeiro, O. R. Saavedra, S. Leite de Lima, and J. Gomez de Matos, "Isolated micro-grids with renewable hybrid generation: The case of Lençóis Island," *IEEE Trans. Sustainable Energy*, vol. 2, no. 1, pp. 1-11, Jan. 2011.
- [49] T. L. Vandoorn, B. Meersman, L. Degroote, B. Renders, and L. Vandeveltte, "A control strategy for islanded microgrids with DC-link
- [9] E. Hobson "Network Constrained Reactive Power Control Using Linear Programming." Paper F79 214-8 presented at the 1979 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, New York.
- [10] R. A. Fernandes, H. H. Happ, and K. A. Wirgau, "System Loss Reduction by Coordinated Transformer Tap and Generator Voltage Adjustment." Paper presented at the 1978 American Power Conference, Chicago, Illinois.
- [11] H. H. Happ, "Optimal Power Dispatch." *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*, vol. 93, 1974, pp. 820-830.
- [12] J. B. Ward and H. W. Hale, "Digital Computer Solution of Power-Flow Problems." *Transactions of the AIEE*, vol. 75, III, 1956, pp. 398-404.
- [13] Merlin and H. Back, "Search for a Minimal-Loss Operating Spanning Tree Configuration in Urban Power Distribution Systems", *Proc. of 5th Power Systems Comp. Con.*, Cambridge, U. K., Sept. 1-5, 1975.
- [14] D. Shirmohammadi and H. W. Hong, "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive losses reduction," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 4, pp. 1402-1498, Apr. 1989.
- [15] G. J. Peponis, M. P. Papadopoulos, and N. D. Hatziaargyriou, "Optimal operation of distribution networks," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 11, no. 1, pp. 59-67, Feb. 1996.
- [16] H. P. Schmidt, N. Ida, N. Kagan, and J. C. Guaraldo, "Fast reconfiguration of distribution systems considering loss minimization," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 3, pp. 1311-1319, Aug. 2005.
- [17] R. P. Broadwater, A. H. Khan, H. E. Shaalan, and R. E. Lee, "Time varying load analysis to reduce distribution losses through reconfiguration," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 8, no. 1, pp. 294-300, Jan. 1993.
- [18] B. Morton and I. M. Mareels, "An efficient brute-force solution to the network reconfiguration problem," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 15, no. 3, pp. 996-1000, Aug. 2000.
- [19] M.W. Siti, D.V. Nicolae, A.A. Jimoh, and A. Ukil, "Reconfiguration and Load Balancing in the LV and MV Distribution Networks for Optimal Performance" *IEEE Trans. On Power Delivery*, Vol. 22, No. 4, Oct 2007
- [20] G. K. Viswanadha Raju, and P. R. Bijwe, "An Efficient Algorithm for Minimum Loss Reconfiguration of Distribution System Based on Sensitivity and Heuristics" *IEEE Trans. On Power Systems*, Vol. 23, No.3, Aug 2008
- [21] S.K. Salman, "The Impact of Embedded Generation on Voltage Regulation and Losses of Distribution Networks", *IEE Colloquium on the Impact of Embedded Generation on Distribution Networks (Digest No. 1996/194)*, 15 Oct. 1996, pp. 2/1 - 2/5.
- [22] C.L.T Borges, and D.M. Falcao, "Impact of Distributed Generation Allocation and Sizing on Reliability, Losses, and Voltage Profile", 2003 *IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings*, Bologna, 23-26 June 2003, Vol. 2.
- [23] I.E. Davidson, and N.M. Ijumba, "Optimization Model for Loss Minimization in a Deregulated Power Distribution Network", 6th *IEEE Africon Conference in Africa (AFRICON)*, Africa, 2-4 Oct. 2002, Vol.2, pp.887 - 894.
- [24] T. Griffin, K. Tomsovic, D. Secrest, and A. Law, "Placement of Dispersed Generations for Reduced Losses", *Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2000, 4-7 Jan., 2000.
- [25] J. Mutale, G. Strbac, S. Curcic, and N. Jenkins, "Allocation of Losses in Distribution Systems with Embedded Generation", *IEE Proceedings of Generation, Transmission and Distribution*, Jan. 2000, Vol. 147, Issue 1, pp. 7 - 14.
- [26] M.A. Kashem, D.T.M. Negnevitsky, and G. Ledwich, "Distributed Generation for Minimization of Power Losses in Distribution Systems" *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, June 2006 .pp. 8-14.
- [27] X. P. Zhang, "Energy Loss Minimization of Electricity Networks with Large Wind Generation using FACTS" *IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, July 2008 .pp. 1-5.
- [28] W.Lin, Y.Sheng, S.Chien, M.Tsay, S.Chen, "The Optimal Loss Reduction of Distribution Feeder Based on Special Distribution

improvements for global numerical optimization," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. B, Cybern.*, vol. 41, no. 1, pp. 89–106, 2011.

[70] Z. W. Geem, C. Tseng, and Y. Park, "Harmony search for generalized orienteering problem: Best touring in China," in *Proc. ICNC*, 2005, vol.

voltage control," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 26, no. 2, pp. 703–713, Apr. 2011.

[50] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. Garcia de Vicuña, and M. Castilla, "Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids—A general approach toward standardization," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 158–172, Jan. 2011.

[51] M. Prodanovic and T. C. Green, "High-quality power generation through distributed control of a power parkmicrogrid," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 53, no. 5, pp. 1471–1482, Oct. 2006.

[52] A. Mohd, E. Ortjohann, W. Sinsukthavorn, M. Lingemann, N. Hamsic, and D. Morton, "Supervisory control and energy management of an inverter-based modular smart grid," in *Proc. IEEE Power Syst. Conf. Expo.*, 2009, pp. 1–6.

[53] A. Timbus, M. Larsson, and C. Yuen, "Active management of distributed energy resources using standardized communications and modern information technology," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 10, pp. 4029–4037, Oct. 2009.

[54] A. Merlin and H. Back, "Search for a minimal-loss operating spanning tree configuration in an urban power distribution system," in *Proc. 5th Power System Computation Conf. (PSCC)*, Cambridge, U.K., 1975, pp. 1–18.

[55] D. Shirmohammadi and H. W. Hong, "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 4, no. 2, pp. 1492–1498, Apr. 1989.

[56] S. Civanlar, J. Grainger, H. Yin, and S. Lee, "Distribution feeder reconfiguration for loss reduction," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 3, no. 3, pp. 1217–1223, Jul. 1988.

[57] D. Das, "A fuzzy multi-objective approach for network reconfiguration of distribution systems," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 21, no. 1, pp. 202–209, Jan. 2006.

[58] K. Nara, A. Shiose, M. Kitagawa, and T. Ishihara, "Implementation of genetic algorithm for distribution systems loss minimum reconfiguration," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 7, no. 3, pp. 1044–1051, Aug. 1992.

[59] J. Z. Zhu, "Optimal reconfiguration of electrical distribution network using the refined genetic algorithm," *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 62, pp. 37–42, 2002.

[60] R. Srinivasa Rao, S. V. L. Narasimham, M. R. Raju, and A. Srinivasa Rao, "Optimal network reconfiguration of large-scale distribution system using harmony search algorithm," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26, no. 3, pp. 1080–1088, Aug. 2011.

[61] W. Rosehart and E. Nowicki, "Optimal placement of distributed generation," in *Proc. 14th Power Systems Computation Conf., Sevilla*, 2002, pp. 1–5, Section 11, paper 2.

[62] G. Celli, E. Ghiani, S. Mocci, and F. Pilo, "A multi-objective evolutionary algorithm for the sizing and the siting of distributed generation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 2, pp. 750–757, May 2005.

[63] C. Wang and M. H. Nehrir, "Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems," *IEEE Trans Power Syst.*, vol. 19, no. 4, pp. 2068–2076, Nov. 2004.

[64] P. Agalgaonkar, S. V. Kulkarni, S. A. Khaparde, and S. A. Soman, "Placement and penetration of distributed generation under standard market design," *Int. J. Emerg. Elect. Power Syst.*, vol. 1, no. 1, p. 2004.

[65] Z. W. Geem, "Novel derivative of harmony search algorithm for discrete design variables," *Appl. Math. Computat.*, vol. 199, no. 1, pp. 223–230, 2008.

[66] S. Ghosh and K. S. Sherpa, "An efficient method for load-flow solution of radial distribution networks," *Int. J. Elect. Power Energy Syst. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 108–115, 2008.

[67] K. Prakash and M. Sydulu, "Particle swarm optimization based capacitor placement on radial distribution systems," in *Proc. IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2007, pp. 1–5.

[68] Z. W. Geem, J. H. Kim, and G. V. Loganathan, "A new heuristic optimization algorithm: Harmony search," *Simulation*, vol. 76, no. 2, pp. 60–68, 2001.

[69] S. Das, A. Mukhopadhyay, A. Roy, A. Abraham, and B. K. Panigrahi, "Exploratory power of the harmony search algorithm: Analysis and