روش جدید جایابی بهینه تولیدات پراکنده در شبکه های توزیع جهت کاهش تلفات با استفاده از نرم افزارPSAT

سید محمد حسن حسینی مهدی فرهمند شاد علیرضا صالحی نیا
دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب-گروه برق قدرت

واژه های کلیدی : تولیدات پراکنده- جایابی-تلفات- نرم افزارPSAT

چکیده :

با توجه به تغیرات ایجاد شده در سیستمهای اقتصادی و نوآوریهای جدید خصوصاً در زمینه الکترونیک قدرت، ایده کاربرد منابع تولید پراکنده(Distributed Generation) روز به روز اهمیت می یابد.

یکی از موارد مهم در رابطه با مسئله کاربرد منابع تولید پراکنده انتخاب محل مناسب جهت نصب آن است.

در این مقاله روش جدید بر مبنای پخش بار بهینه برای حل مسئله جایابی منابع تولیدات پراکنده در شبکه توزیع شعاعی ارائه شده است و در نهایت صحت این روش با استفاده از نرم افزار PSAT بر روی شبکه نمونه تست و نتایج حاصله با روش ذکر شده مقایسه شده است.

نتایج حاصله گویا این موضوع است که به کمک روش پیشنهادی این مقاله، می توان بیشترین کاهش تلفات را در مقایسه با روشهای دیگر بدست آورد.

۱- مقدمه :

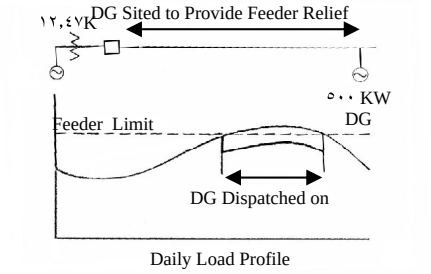
صنعت برق یکی از بزرگترین و پیچیده ترین صنایع دنیا است و مهندسین برق شاغل در این صنعت با مسائلی در طراحی سیستم های قدرت برای تامین انرژی الکتریکی به صورت اقتصادی، ایمن و با کمترین اثرات مخرب بر محیط زیست درگیر می باشند.

هم اکنون انرژی الکتریکی در ایران توسط نیروگاههای متمرکز و بزرگ انجام می شود. اگر چه کشور ایران از منابع انرژی بسیاری برخوردار است ولی عدم استفاده بهینه ازآنها نه تنها موجب بروز مشکلات اقتصادی می شود، بلکه از نقطه نظر زیست محیطی نیز که امروز در سطح جهان با تمایلات فراوانی روبرو است اثر نامطلوب دارد.آنچه که طراحان سیستم های قدرت را به ایجاد نیروگاههای بزرگ برای تولید متمرکز علاقه‌مند کرده است تامین بارهای مصرفی بزرگ، افزایش راندمان حرارتی، کاهش هزینه های سرمایه گذاری و هزینه بهره برداری به ازای کیلو وات تولیدی می باشد. اما باید توجه داشت در شبکه های برق رسانی درصد قابل توجهی (در حدود ۱۳ درصد) از توان و انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاهها، در مسیر تولید به مصرف تلف می شود. تلفات در تمام سطوح سیستم قدرت یعنی تولید، انتقال و توزیع وجود دارد، اما ۷۵درصد از تلفات در شبکه های توزیع اتفاق می افتد. علت این امر زیاد بودن مقادیر جریان های خطوط، به دلیل پایین بودن سطح ولتاژ درشبکه‌های تویع و نیز ساختار شعاعی این شبکه ها می باشد. لذا در زمینه کاهش تلفات شبکه های توزیع از اهمیت بالایی برخوردار است.

با توجه به ایجاد رقابت و تجدید ساختار در سیستم های قدرت انتظار می رود که واحدهای تولیدی کوچک (تولید پراکنده)

نقش فزاینده ای درآینده این سیستم ها داشته باشند. به طوری که تحقیقات انجام شده نشان می دهد، تا سال ۲۰۱۰ میلادی بیش از ۲۰ درصد تولید جدید انرژی الکتریکی را تولیدات پراکنده تشکیل خواهند داد. به طورکلی هر نوع تولید انرژی در ظرفیتهای نسبتاً کم، که در محل مصرف یا در نزدیکی آن (عمدتاً در بخش توزیع شبکه قدرت) صورت می پذیرد، بدون در نظر گرفتن تکنولوژی مورد استفاده در پروسه تولید آن، نوعی تولید پراکنده محسوب می شود. این تعریف، شامل تولید ترکیبی گرما، سرما و برق (CHCP) هم می شود. از یک دیدگاه عملی این سیستم یک نوع امکان برای تولید برق است که می تواند در داخل یا کنار محل استفاده مشتری نهایی (که ممکن است یک ناحیه، منطقه صنعتی، یک ساختمان تجاری یا یک مجتمع باشد)، نصب و استفاده شود. واحدهای تولید پراکنده دارای انواع مختلفی می باشند که بسته به نوع، ظرفیت نامی و نیز قیمت، متفاوتند.

تولید پراکنده می تواند در زمان پیک بار روی یک فیدر، در تغذیه بار کمک کند و از این رو قابلیت کاهش هزینه سرمایه گذاری روی یک فیدر را دارد. استفاده از تولید پراکنده همزمان با استفاده از نیروگاههای بزرگ وشبکه سراسری نیز امکانپذیر است. دراین صورت ظرفیت خطوط انتقال و پستهای توزیع تا حد قابل ملاحظه ای آزاد خواهد شد. شکل ۱ مثالی را نشان می دهد که تولید پراکنده در انتهای یک فیدر قرار گرفته است.



شکل۱: قرار گرفتن تولید پراکنده در شبکه جهت کمک به فیدر

۲- روش جدید جایابی تولیدات پراکنده در شبکه توزیع واقعی جهت کاهش تلفات:

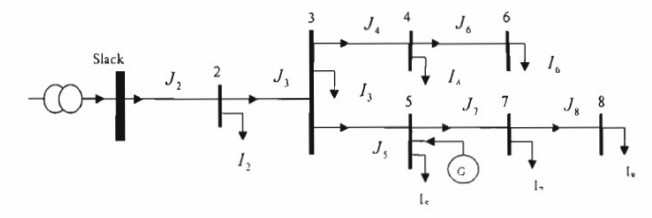
یکی از خصوصیات منحصر به فرد شبکه‌های شعاعی تناظر یک به یک بین جریان بار شینه‌ها و جریانهای شاخه‌های شبکه است. در این شبکه ها توسط قانون جریان کیرشهف می توان از روی جریانهای بار، جریانهای شاخه‌ها را به دست آورد. شکل۲ را درنظر بگیرید.

اگرi بردار جریان بار شینه‌ها و J بردار جریان شاخه‌ها باشد، خاصیت فوق را می‌توان به صورت روابط ماتریسی زیر نمایش داد.

$$I = CJ \qquad (۱)$$

$$J = C^{-1}I \qquad (۲)$$

که در آن C ماتریس اتصالات شبکه است.



شکل۲ :یک شبکه توزیع نمونه واقعی همراه با حضورDG

حال به یافتن تابع تلفات شبکه می‌پردازیم. فرض می‌شود ولتاژ، جریان بار و جریان تزریقی نیروگاه تولید پراکنده در شینه دلخواه i از شبکه به ترتیب با V_i و I_i و I_i^{DG} نمایش داده شوند. در این صورت با انتخاب محورهای مختصات متعامد d و q و تجزیه بردارهای فوق بر روی این دو محور به صورت I_q, I_d تابع تلفات را می‌توان ابتدا بدون در نظر گرفتن نیروگاه تولید پرکنده، بصورت زیر بدست آورد.

$$P_{DL} = \sum_{i=1}^{n} [J_{d_i}^2 + J_{q_i}^2] R_i \qquad (۳)$$

که در آن:

$$J_{di} = \sum_{j=1}^{n} C_{1j}^{-1} I_{dj} \qquad (۴)$$

$$J_{qi} = \sum_{j=1}^{n} C_{1j}^{-1} I_{qj} \qquad (۵)$$

$$I = I_{di} + jI_{qi} = \frac{P_i - jQ_i}{|V_i|^{-\angle\delta_i}} \qquad (۶)$$

P_i, Q_i توان اکتیو و راکتیو بار و δ_i زاویه ولتاژ در شینه i است. با تزریق جریان از یک نیروگاه تولید پراکنده مطابق شکل۲مثلاً نصب شده در شین i متعلق به مسیر P (منظور از مسیر، مسیری است که شینi را به شینSlack وصل می‌کند. برای این حالت $P=\{۲,۳,۵\}$) تابع تلفات برای این حالت به صورت زیر بدست می آید

(۷)

$$P_{DL}^{DG} = \sum_{\substack{j=2 \\ j \notin p}}^{n} (J_{dj}^2 + J_{qj}^2).R_j + \sum_{j \in p}^{i} [(J_{dj} - I_{di}^{DG})^2 + (J_{qj} - I_{qi}^{DG})^2] R_j$$

البته این مقدار تلفات یک مقدار نسبتاً دقیق است، چرا که پخش بار در حالت جدید یعنی با حضور DG انجام نشده است. ولی تغییر جریان شاخه‌ها پس از پخش بار با حضور DG به طور تقریبی با مقادیر پیش بینی شده برای شاخه‌ها، با رابطه بالا مطابقت دارد. حال اگر از تابع تلفات جدیدی نسبت به جریان تولید پراکنده مشتق بگیریم، برای آنکه بیشترین کاهش تلفات اکتیو را داشته باشیم، خواهیم داشت:

$$\frac{\partial P_{DL}^{DG}}{\partial I_{dl}^{DG}} = 0 \Rightarrow I_{dl}^{DG} = \frac{\sum_{j\in p}^{i} J_{di}.R_i}{\sum_{j\in p}^{i} R_i} \qquad (۸)$$

$$\frac{\partial P_{DL}^{DG}}{\partial I_{ql}^{DG}} = 0 \Rightarrow I_{ql}^{DG} = \frac{\sum_{j\in p}^{i} J_{di}.R_i}{\sum_{j\in p}^{i} R_i} \qquad (۹)$$

برای آنکه DG در شینه i، جریانهای بدست آمده در رابطه ۸ و ۹ را داشته باشد، توان بهینه آن را از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

$$P_i^{DG} = \mathrm{Re}\,al[(I_{di}^{DG} + jI_{qi}^{DG}).V_i^{\angle -\delta_i}] \qquad (۱۰)$$

با این روش مقدار بهینه قدرت تولید برای هر شینه پیدا می‌شود و پس از انجام پخش بار این بار با حضور DG با توانی که برای آن بدست آمد، تلفات جدید را برای شینه i وقتی DG در آن نصب می‌شود، پیدا می‌شود. این عملیات را برای همه شینه‌های شبکه تکرار کرده، شینه‌ای که نصب DG در آن ماکزیمم کاهش تلفات را ایجاد می کند، نقطه بهینه برای نصب DG در شبکه می‌باشد.

الگوریتم عملیات فوق به صورت زیر خلاصه می‌شود:

قدم اول: انجام محاسبات پخش بار روی فیدر

قدم دوم: تعیین مسیر از شینه i تا شینه Slack

قدم سوم: نوشتن تابع تلفات جدید طبق رابطه ۷

قدم چهارم: پیدا کردن جریان بهینه DG ای که باید در شینه i نصب شود. طبق رابطه ۸ و ۹

قدم پنجم: محاسبه مقدار تقریبی توان بهینه برای DG در شینه i ، طبقه رابطه ۱۰

قدم ششم: محاسبه تلفات به طور دقیق، پس از پخش بار در حالت جدید

قدم هفتم: تکرار الگوریتم فوق برای همه شینه‌های شبکه

قدم هشتم: مقایسه کاهش تلفات دقیقی که نصب DG در هر شینه روی تلفات شبکه ایجاد کرده است و انتخاب نقطه بهینه، یعنی شینه‌ای که ماکزیمم کاهش تلفات را ایجاد کرده است.

همانطور که ملاحظه شد در شبکه توزیع واقعی، دیگر تابع تلفات یک تابع پیوسته نیست که به آسانی بتوان از آن مشتق گرفت و نقطه بهینه را پیدا کرد، بلکه یک تابع گسسته است که در هر یک از شینه‌ها بسته به مقدار باری که به آنها وصل است، اثر متفاوتی روی آن می‌گذارند و از طرف دیگر اگرچه تعیین مقدار توانی که DG تولید می‌کند در اختیار ما می‌باشد. اما مقدار توان راکتیوی که از آن کشیده خواهد شد با توجه به محدودیت ظرفیت مولد توسط محاسبات پخش بار مشخص خواهد شد و حتی امکان دارد با حضور DG در شبکه تلفات راکتیو آن افزایش یابد. با توجه به دو مسئله فوق و اینکه غالباً فیدر دارای گستردگی و پراکندگی زیاد است، بنابراین جایابی بهینه آنطور که در روش فوق ذکر گردید وقت گیر می‌باشد.

برای آنکه گستردگی فیدر باعث حجم بالای محاسبات نگردد، مسیر کاملی (منظور از مسیر کامل مسیری است که یک شینه انتهایی شبکه را به شینه Slack وصل می‌کند) که بیشترین جریان اکتیو را می‌کشد (در شبکه نمونه مسیر ۸،۷،۵،۳،۲) در نظر می‌گیریم. شینه‌های مسیر کامل انتخاب شده، آلترناتیوهای ما برای نصب تولید پراکنده می‌باشند و مابقی شینه‌ها از محاسبات حذف می‌گردند. مقدار کاهش تلفات تقریبی از رابطه ۱۱ که از روابط ۳، ۷، ۸ و ۹ برای شینه‌های مسیر انتخاب شده حساب کرده، هر شینه‌ای که مقدار A.L.R در آن ماکزیمم شد، جای بهینه است.

$$A.L.R = P_{DL} - P_{DL}^{DG} = \frac{(\sum_{j\in p} J_{dj}.R_j)^2}{\sum_{j\in p} R_i} + \frac{(\sum_{j\in p} J_{qj} - R_j)^2}{\sum_{j\in p} R_j} \qquad (۱۱)$$

چنانچه بخواهیم تقریب به کار رفته در روابط، خللی در محاسبات وارد نکند، می‌توان ۳ یا ۴ شین بعد از این شین بهینه

بدست آمده توسط فرمول ۱۱، را هم در نظر گرفت و برای آنها هم محاسبات یافتن قدرت تولید برای نصب شدن در آن شینه‌ها و تلفات برای حالتی که ایجاد می‌کنند را انجام داد و نتایج را بررسی کرد. به این گروه انتخاب شده از بین شینه‌های مسیر کامل، گروه منتخب SB می‌گوئیم و از بین این شینه‌ها جای بهینه را براساس ماکزیمم کاهش تلفات انتخاب کرد.

۳- الگوریتم جایابی بهینه و سریع DG در یک فیدر شعاعی

قدم اول: محاسبات پخش بار روی فیدر انجام شود.

قدم دوم: مسیر کاملی که بیشترین مقدار جریان اکتیو از شاخه‌های آن عبور می‌کند انتخاب شود.

قدم سوم: مقدار A.L.R از رابطه ۱۱ برای شینه‌های مسیر انتخاب شده، محاسبه گردد.

قدم چهارم: مجموعه SB از نتایج مرحله ۳ بدست می‌آید.

قدم پنجم : مقدار بهینه I^{DG} را برای شینه های مجموعه SB از روابط ۸ و ۹ بدست می‌آید.

قدم ششم: مقدار بهینه قدرت DG را برای شینه‌های مجموعه SB از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

قدم هفتم: محاسبات پخش بار به ترتیب برای هریک از شینه‌های SB وقتی DG بهینه بدست آمده در مرحله ۶ در هرکدام از آنها نصب شود و محاسبه کاهش تلفات دقیقی که باعث می‌شود.

قدم هشتم: انتخاب شینه بهینه براساس ماکزیمم کاهش تلفات دقیق

۴- شبیه‌سازی سیستم نمونه براساس روش ابتکاری

اطلاعات شبکه شعاعی نمونه شکل۲ عبارتند از :

$$P_{loud} = 4MW, V_1^{\angle\delta_1} = 1.05^{\angle 0}\, PU$$

$$Q_{loud} = 1.5MVAR$$

$$S_{loud} = 100MW, V_{buse} = 23KV$$

R=۰/۲ و X =۰/۲۵ برای خطوط برحسب PU بوده و تلفات شبکه بدون حضور تولید پراکنده ۵/۷۸۰۲MW است. پس از انجام محاسبات پخش بار ملاحظه می‌شود که، مسیر کامل [۸ ۷ ۵ ۳ ۲] = P دارای بیشترین جریان اکتیو در شاخه‌های مسیر است طبق الگوریتمی که برای جایابی بهینه و سریع یک DG در این فصل ذکر گردید با انجام مراحل آن شینه ۵ جای بهینه است و احتمالاً با توجه به کوتاهی فیدر همین شینه ۵، شینه بهینه است. جدول ۱ بهینه سازی تلفات با نصب نیروگاه تولید پراکنده روی فقط یک شینه از این شبکه را نشان می دهد.

برای مشاهده کل نتایج به دست آمده، نتایج نصب DG برای همه شینه‌های شبکه در جدول آمده است.

برای مقایسه آسانتر نتایج از دو عامل کاهش تلفات دقیق P.L.R و آزادسازی ظرفیت دقیق P.S.C برحسب درصد از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$P.L.R = \frac{P_{Loss} - P_{Loss}^{DG}}{P_{Loss}} * 100 \qquad (۱۲)$$

i	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
$P^{DG}{}_{(PU)}$	۰/۳۱۱۳	۰/۲۶۹۵	۰/۲۰۱۸	۰/۲۱۳۱	۰/۱۵۹۳	۰/۱۷۵۲	۰/۱۴۵۹
P.L.R	٪۴۰/۱	٪۷۱/۲۵	٪۷۴/۶۶	٪۸۳/۳	٪۶۷/۱۵	٪۸۱/۵۳	٪۷۵/۸۱
P.S.C	٪۳۵/۷۶	٪۳۶/۱۱	٪۲۸/۸۱	٪۳۰/۹۳	٪۲۳/۶۹	٪۲۶/۹۴	٪۲۳/۳۵

جدول ۱ : نتایج شبیه‌سازی برای شبکه نمونه

(۱۳)

$$P.S.C = \frac{P_{Slack} - P_{Slack}^{DG} + P_{Loss} - P_{Loss}^{DG}}{P_{Slack}} * 100$$

هرچه مقدار این دو فاکتور بیشتر باشد، کاهش تلفات بیشتر و آزادسازی ظرفیت بیشتری خواهیم داشت.

همانطور که ملاحظه می‌شود حالت بهینه وقتی است که در شینه۵ تولیدی با قدرت ۰/۲۱۳۱ PU نصب شود که ما ٪۸۳/۳

کاهش تلفات دقیق و۳۰/۹۳٪ آزادسازی ظرفیت دقیق خواهم داشت.

توانی که شبکه باید به پست اصلی بدهد در این حالت برابر است با ۰/۰۷۶۵۱PU که ۲۲/۶۵٪ مقداری است که در حالت بدون حضور تولید پراکنده پست باید به فیدر تزریق می کرد. در ضمن اندازه ولتاژها به PU ۱ نزدیکتر خواهد شد. پس با جایابی بهینه یک DG با یک مقدار بهینه قدرت در شبکه توزیع کاهش تلفات و آزادسازی ظرفیت ایجاد می‌شود. توجه شود که $P_{Stack} = \sum_{i=1}^{n} P_{Loss} + \sum_{i=1}^{n} P_{Load}$ پس هر چقدر تلفات بیشتر کاهش بیابد ظرفیت بیشتری آزاد شده است.

۵- شبیه‌سازی سیستم نمونه با استفاده از نرم افزار PSAT

مراحل کار به ترتیب زیر است:

۱- ابتدا شبکه نمونه شعاعی شکل ۲-۴ را با استفاده از نرم افزار شبیه سازی می‌کنیم.

۲- اطلاعات شبکه را وارد برنامه می‌کنیم.

۴	۵	۶	۷	۸
۱۵	۰/۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵
٪۶۸	٪۸۳/۳	٪۶۵/۹۱	٪۸۱/۰۶	٪۷۴/۸۶
٪۳۴/۷۶	٪۲۶/۶۴	٪۳۰/۹۳	٪۲۲/۱۸	٪۲۵/۴۶	٪۲۳/۲۰

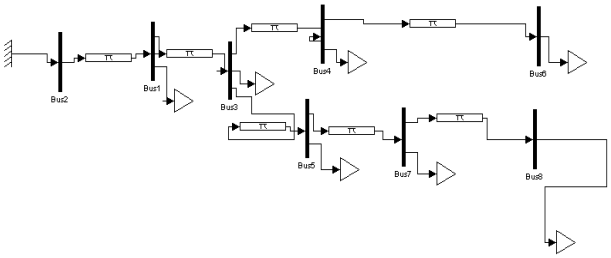
جدول ۲ : نتایج شبیه‌سازی با ح

۳- انجام بخش بار شبکه بدون حضور تولید پراکنده و بدست آوردن مجموع تلفات برای شبکه.

۴- در هریک از شینه‌های شماره ۲ تا ۸ به ترتیب منبعی را قرار می دهیم با تولید $0.1 < P^{DG} < 1.2$ و با یک Step =۰/۰۵ تولید را افزایش داده و در مرحله و برای هر باس بخش بار انجام داده و تلفات را بدست می‌آوریم.

۵- با استفاده از فرمول های ۱۲ و۱۳ مقدار دقیق کاهش تلفات و مقدار دقیق آزادسازی ظرفیت را برای هر باس بدست می‌آوریم و با استفاده از نتایج بدست آمده شینه بهینه را براساس ماکزیمم کاهش تلفات دقیق انتخاب می‌کنیم.

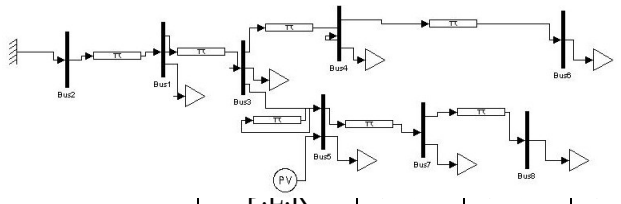
طبق مراحل ذکر شده در بالا ابتدا شبکه را بدون حضورDG به روش نیوتن- رافسون پخش بار می کنیم.



شکل ۳ : شبیه سازی شبکه با استفاده از نرم افزار

نتایج حاصله از پخش بار شبکه بدون حضور تولید پراکنده نشان می دهد که تلفات سیستم بدون حضور تولید پراکنده، ۰/۰۵۴۰۷PU می باشد.

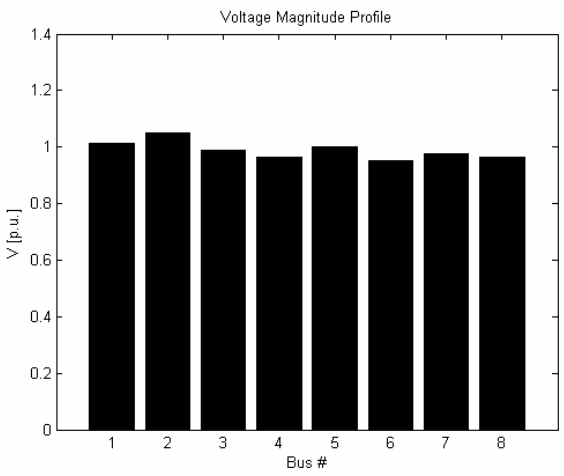
همانطور که ملاحظه می شود حالت بهینه وقتی است که در شینه ۵ تولیدی با قدرت PU ۰/ ۲ نصب شود که در این صورت ما ۸۳/۳٪ کاهش تلفات دقیق و ۳۰/۹۳٪ آزاد سازی ظرفیت دقیق خواهیم داشت.



شکل ۴ : نمایش شین بهینه برای نصبDG

نزدیکتر شده است.

در ضمن اندازه ولتاژها بهPU۱ نزدیکتر شده است.



شکل۵ : پروفیل ولتاژ بعد از نصبDG

۶- نتیجه گیری

همانطور که ملاحظه شد استفاده از واحدهای تولید پراکنده در شبکه توزیع باعث کاهش قابل توجه در تلفات توان فیدر خواهد شد و همچنین سبب آزادسازی ظرفیت خطوط انتقال و پستها نیز می گردد.

نتایج مشابه هر دو روش ابتکاری و شبیه سازی با استفاده از نرم افزار حاکی از آن است که روش ابتکاری صحیح بوده است ولی روش شبیه سازی با استفاده ازPSAT ما را زودتر به جواب می رساند؛ بطوریکه مدت زمان همگرایی پخش بار ۰/۱۸۸ثانیه می باشد.

منابع

[۱] سید مسعود مقدس تفرشی "منابع تولید انرژی الکتریکی در قرن بیست و یکم" چاپ اول، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی،۱۳۸۴

[۲] T.griffink.Tomsovic, D.Secrest, A.Law, “placement of dispersed generations system for reduced losses” ,proceedings of the ۳۳rd Hawaii International conference on system sciences,۲۰۰۰.

[۳] Philip P.Barker, Robert W.de.Mello, “determining the impact of distributed generation on power systems: part ۱- Radial distributed systems” , ۲۰۰۰ IEEE

[٤] Imanka T.,”A study on Locational Configuration of distributed Generation under uncertaion Demand Growth ,”Electrical Enginnering in japan ,Vol.۱۳۳,No.۲۰۰۳

[٥] T.Niknam, H. Arabian And M. Mirgafari,”Power Pricing in Deregulated Environments Using Novel search Methods”Proceding of the ۲۰۰٤ International Conference on Machine learning andCybernetics,Vol.۷,pp.٤۲۳٤-٤۲۳۹,aug.۲۰۰٤

[٦] M.E Baran, and F.F. Wu “Network reconfiguration in distribution systems for Loss Reduction and load balacing “IEEE Trans.on Power Delivery, Vol.٤ (۲), pp.۱٤۰۱-۱٤۰۷, April۲۰۰۲

[۷] Hassam K.,”Electric Power Generation, ”IEEE, Vol .۸۱, no.۳, ۱۹۹٦, pp۳٤٦-٥٤

[۸] Celli, G., Plio, F.; “Optimal distributed generation allocation in MV distribution network”.Power Industry Computer Aplication, ۲۰۰۳.PICA ۲۰۰۳ Innovative Computing for Power-Electric Energy Meets the Market.۲۲ nd IEEE Power Engineering Society International Conferene on ,۲۰-۲٤ may ۲۰۰۳

[۹] M.E. Hamedani , S.A Arefifar “ Simultaneous Location & Sizing of Distributed Generation and Reactive Power Source in a Distributed System ”, Iranian Conferene on Electrical Engineering, ICEE ۲۰۰٤, Mashad, Iran, ۱۱-۱۳ May ۲۰۰٤

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