



بررسی اثر توزیع بار در مکان یابی تولیدات پراکنده

فاطمه محمدی

دانشکده مهندسی برق

دانشگاه علم و صنعت ایران

شهرام جدید

قطب علمی اتوماسیون و بهره برداری سیستم های قدرت

دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت ایران

واژه های کلیدی: تولیدات پراکنده، مکان یابی تولیدات پراکنده، کاهش تلفات

چکیده

امروزه جهت بهبود شرایط و موقعیت سیستم های قدرت، حفظ پایداری، استمرار تغذیه ی بار و به حداقل رساندن هزینه های مصرفی استفاده از تولیدات پراکنده در سیستم های قدرت بسیار معمول شده است. در جهت استفاده بهینه از تولیدات پراکنده عواملی نظیر تعیین مکان این واحدها از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. مکان قرارگیری این منابع می تواند روی میزان تلفات سیستم و همچنین ولتاژ نقاط مختلف شبکه تاثیر گذار باشد.

تحقیقات گوناگونی در زمینه ی مکان یابی بهینه ی واحدهای تولید پراکنده انجام شده است که هر یک، معیاری خاص همچون تلفات، انرژی توزیع نشده، قابلیت اطمینان و دیگر موارد از این دست را مورد بررسی قرار داده اند، لیکن کمتر به تعیین اسلوبی سریع جهت تعیین مکان بهینه ی واحدهای تولید پراکنده توجه شده است. از سویی، در قواعدی که تاکنون برای مکان یابی واحدهای تولید پراکنده ارائه شده اند، کمتر به مدل واقعی بار توجه شده است و اغلب روش ها، مدل توان-ثابت بار را مد نظر قرار داده اند.

در این مقاله به بررسی اثر توزیع بار در تعیین مکان تولیدات پراکنده پرداخته شده است. توزیع بار در سه نوع یکنواخت، افزایشی و متمرکز در سیستم های شعاعی در بارهای نامتغیر با زمان مورد مطالعه قرار گرفته و همچنین اثر مدل استاتیک بار در مکان بهینه ی واحد تولید پراکنده بررسی می شود. معیار انتخاب مکان بهینه در این مقاله، معیار تلفات می باشد.

۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت تکنولوژی جهت بهره برداری از منابع تجدیدپذیر، افزایش مشکلات در خطوط انتقال، بخش توزیع و نهایتاً نیاز به کیفیت و قابلیت اطمینان بالا در شبکه استفاده از تولیدات پراکنده^۱ در سیستم های قدرت بسیار معمول شده است [۱]. تا اوایل قرن ۲۱ میلادی، شبکه های قدرت، اغلب به صورت بهم پیوسته گسترده شدند، اما با گشوده شدن مباحث جدید در صنعت برق، از شتاب گسترش شبکه های یکپارچه و بهم پیوسته، کاسته شده و این در حالیست که تحقیقات به سوی بکارگیری واحدهای تولید پراکنده معطوف گردیده است. این منابع، در جهت کمتر شدن تلفات، ایجاد حالت انعطاف پذیری و حفظ پایداری سیستم و همچنین

¹ Distributed Generation (DG)

$$I(x, T_i) = \int_0^x I_d(x, T_i) dx \quad (1)$$

در رابطه‌ی فوق، I_d را چگالی جریان می‌نامیم. با در نظر گرفتن امیدانس خط $Z=R+jX$ ، میزان تلفات و افت ولتاژ همانند روابط (۲) و (۳) تعریف می‌شود.

$$dP(x, T_i) = \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx \right)^2 R dx \quad (2)$$

$$dV(x, T_i) = \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx \right) Z dx \quad (3)$$

با انتگرال‌گیری از رابطه‌ی (۲) میزان تلفات کل خط در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه حاصل می‌شود.

$$P(T_i) = \int_0^L dP(x, T_i) dx = \int_0^L \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx \right)^2 R dx \quad (4)$$

افت ولتاژ در نقطه x نیز همانند رابطه‌ی (۵) تعریف می‌شود.

$$V_{drop}(x, T_i) = V_x(T_i) - V_0(T_i) = \int_0^x dV(x, T_i) = \int_0^x \int_0^x I_d(x, T_i) dx Z dx \quad (5)$$

بدین ترتیب، با احتساب افت ولتاژ محاسبه شده از رابطه‌ی (۵)، افت ولتاژ در طول خط از رابطه‌ی (۶) قابل محاسبه خواهد بود.

$$V_{drop} = V_L(T_i) - V_0(T_i) = \int_0^L dV(x, T_i) = \int_0^L \int_0^x I_d(x, T_i) dx Z dx \quad (6)$$

باعث بهینه‌سازی سیستم توزیع و مهیا کردن ذخیره چرخان جهت حفظ امنیت شبکه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. میزان برخورداری از این مزایا بستگی به بهره‌برداری از سیستمها، نوع نیروگاه، منابع بهره‌برداری شده، روش کنترل سیستم و قیود موجود دارد. بعد از تعیین نوع DG و ظرفیت مربوطه نوبت به تعیین مکان DG می‌رسد [۴]. برای این بخش می‌بایستی عوامل مهم در تعیین مکان DG مشخص شوند تا جایگاه درست این واحدها تعیین شود. یکی از این عوامل بار موجود در شبکه مورد تحلیل می‌باشد. در این مقاله به بررسی اثر توزیع بار در سه حالت توزیع یکنواخت، متمرکز و افزایشی در مکان بهینه‌ی واحد DG پرداخته و سپس چگونگی تأثیرگذاری مدل واقعی بار بر مکان بهینه‌ی DG برای یکی از سه حالت توزیع بار بررسی و نتایج مقایسه می‌گردد. البته سه نوع توزیع بار یاد شده، بسیار عام بوده، لیکن نتایج حاصل قابل تعمیم به دیگر مسایل است. این مسئله در جهت کاهش میزان تلفات با حفظ اندازه‌ی ولتاژ در بازه‌ی قابل قبول انجام می‌شود، نتایج حاصله در سیستم شعاعی برای بارهای متغیر با زمان و نا متغیر با زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

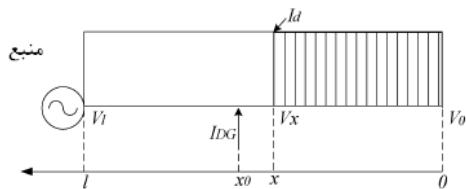
۲-مدلسازی اثر توزیع بار در مکان یابی

تولیدات پراکنده

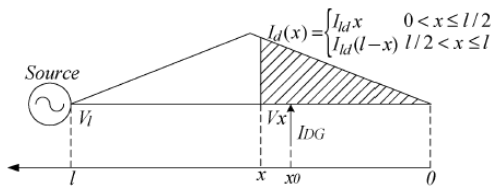
برای مطالعه اثر توزیع بار در تعیین مکان تولیدات پراکنده دو روش مدلسازی مورد بررسی قرار گرفته است [۵]. روش اول با در نظر گرفتن مدل توان-ثابت و توزیع بار در سه حالت متمرکز، یکنواخت و افزایشی و در حالت دوم بار بصورت واقعی (مدل استاتیکی) مدل و نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرد. مکان‌یابی DG از طریق روش تحلیلی و با معیار حداقل تلفات انجام می‌پذیرد [۶]. در بخش مدل واقعی، از معادلات پخش بار کمک گرفته می‌شود.

برای بررسی ابتدا حالتی در نظر گرفته می‌شود که DG در شبکه وجود ندارد. مقدار جریان در نقطه‌ی x در زمان T_i در روی شبکه در رابطه‌ی (۱) تعریف شده است.

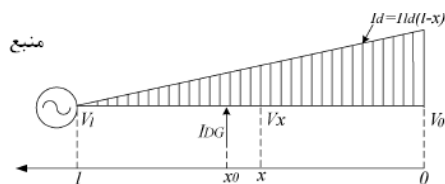
با توجه به روابط مذکور جایگاه DG با به حداقل رساندن تلفات تعیین می‌شود. این مکان با وجودی که تلفات را به حداقل می‌رساند ولی ممکن است مقدار ولتاژ در بازه‌ی مورد تایید قرار نگیرد، در این صورت باید مکان تولیدات پراکنده را خیلی کم جابجا نمود و دوباره همه‌ی شرایط بررسی شود. در مرحله‌ی نخست می‌بایست با توجه به نوع توزیع بار، چگالی جریان تعیین گردد.



شکل ۱: توزیع بار یکنواخت



شکل ۲: توزیع بار متمرکز



شکل ۳: توزیع بار افزایشی

با جایگذاری مقادیر جریان (شکل‌های ۱ تا ۳) در معادلات محاسبه‌ی تلفات و افت ولتاژ، مقدار تلفات در ازای حضور و عدم حضور DG و مکان بهینه‌ی DG به صورت پارامتری در جدول ۱ آورده شده است.

حال حالتی در نظر گرفته می‌شود که DG وارد سیستم شده است (در نقطه‌ی x_0 قرار گرفته) در این صورت به دلیل تزریق جریان توسط واحد تولید پراکنده مقدار I_d و در نهایت دامنه‌ی ولتاژ نقاط مختلف سیستم تغییر می‌کند. تغییرات در چگالی جریان در نقطه‌ی x کمتر از تغییرات در کل خط می‌باشد. نحوه‌ی محاسبه‌ی تلفات، افت ولتاژ و چگالی جریان در هر نقطه از خط مطابق با میزان جریان تزریقی توسط DG تغییر خواهد کرد. تاثیر حضور DG در روابط زیر ارائه شده است.

$$I(x, T_i) = \begin{cases} \int_0^x I_d(x, T_i) dx & 0 \leq x \leq x_0 \\ 0 & x_0 < x \leq L \\ \int_0^x I_d(x, T_i) dx - I_{DG}(T_i) & x_0 \leq x \leq L \end{cases} \quad (7)$$

همانطور که نشان داده شده است میزان جریان سیستم با توجه به ورود DG و جریان آن تغییر کرده است که در رابطه‌ی فوق جریان کل خط را نشان می‌دهد. با توجه به میزان تغییر جریان، مقدار تلفات کل سیستم و همچنین افت ولتاژ بصورت زیر تعریف می‌شوند.

$$P_{loss} = \int_0^{x_0} \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx \right)^2 R dx + \int_{x_0}^L \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx - I_{DG}(T_i) \right)^2 R dx \quad (8)$$

$$V_{drop}(x, T_i) = \quad (9)$$

$$\int_0^{x_0} \int_0^x I_d(x, T_i) dx \cdot Z dx \quad 0 \leq x \leq x_0$$

$$\int_0^{x_0} \int_0^x I_d(x, T_i) dx \cdot Z dx$$

$$+ \int_{x_0}^L \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx - I_{DG}(T_i) \right) \cdot Z dx \quad x_0 \leq x \leq L$$

جدول (۱): میزان تلفات شبکه در مسأله‌ی مکان‌یابی بهینه‌ی واحدهای DG

نوع توزیع بار	میزان تلفات قبل از حضور DG بر حسب مگاوات	میزان تلفات بعد از حضور DG بر حسب مگاوات	میزان بهبود تلفات	جایگاه DG
یکنواخت	$I_d^2.R.\frac{L^3}{3}$	$I_d^2.R.\frac{L^3}{12}$	٪۷۵	$\frac{L}{2}$
متمرکز	$\frac{23}{960}.I_d^2.R.L$	$\frac{1}{320}.I_{ld}.R.L^5$	٪۸۷	$\frac{L}{2}$
افزایشی	$0.1333I_{ld}^2.RL^5$	$0.01555.I_{ld}.RL^5$	٪۸۸	$\left(1-\frac{\sqrt{2}}{2}\right)L$

طور جداگانه در نظر گرفته می‌شوند. وابستگی مشخصه‌های بار به ولتاژ معمولاً به صورت نمایی مطابق با فرمول (۱۳) نشان داده می‌شود.

$$P = P_0(\bar{V})^a \quad (13)$$

$$Q = Q_0(\bar{V})^b$$

در این مدل می‌توان نشان داد که:

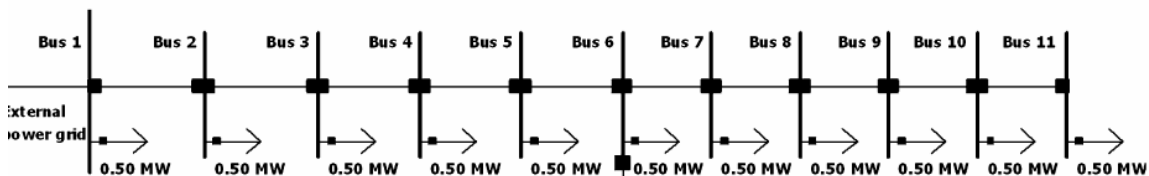
$$\bar{V} = \frac{V}{V_0} \quad (14)$$

در روابط ذکر شده، P و Q به ترتیب توان‌های اکتیو و راکتیو است هنگامی که دامنه‌ی ولتاژ شین مساوی V است. زیر نویس 0 مقادیر متغیرهای مربوطه را در شرایط اولیه‌ی کاری نشان می‌دهد. پارامترهای این مدل، نماهای a و b است. اگر این مؤلفه‌ها به ترتیب، صفر، یک یا دو باشند، مدل نمایش داده شده، نشان دهنده‌ی مشخصه‌های بار توان ثابت، جریان ثابت و امپدانس ثابت خواهد بود.

در شبکه‌های قدرت، بارهای موتوری از جنس بارهای توان ثابت ($a=0$)، بارهای روشنایی شامل لامپ‌های رشته‌ای و تلویزیون‌ها جزو بارهای امپدانس ثابت ($a=2$) و بار لامپ‌های کم‌مصرف و فلورسنت‌ها از جنس بارهای جریان ثابت ($a=1$) می‌باشند. روش دیگری برای نمایش وابستگی بار به ولتاژ، مدل چندجمله‌ای زیر است:

$$Q = Q_0 [q_1 \bar{V}^2 + q_2 \bar{V} + q_3] \quad (15)$$

$$P = P_0 [P_1 \bar{V}^2 + P_2 \bar{V} + P_3]$$



شکل ۴: شبکه شعاعی نمونه

(۱) محاسبه چگالی جریان در هر نقطه روی خط.

(۲) محاسبه میزان تلفات با استفاده از رابطه (۱۰)، در صورت حضور DG.

(۳) محاسبه ولتاژ با استفاده از رابطه (۱۱).

(۴) در صورت برقرار بودن اندازه ولتاژ در بازه قابل قبول، مکان بدست آمده جایگاه قرارگیری DG خواهد بود. در غیر اینصورت می‌بایستی جایگاه DG را به مقدار کم جابجا نمود و دوباره قید ولتاژ بررسی شود.

(۵) در صورتیکه قید ولتاژ با جابجا نمودن ولتاژ در بازه قابل قبول قرار نگیرد باید توان DG را تغییر داد.

(۶) با بررسی‌های صورت گرفته، میزان توان بهینه و مکان DG مشخص می‌شود.

تمامی روشهای ذکر شده با مدل کردن بار بصورت توان ثابت انجام خواهد شد و نتایج در بخش بعدی ارائه می‌گردد.

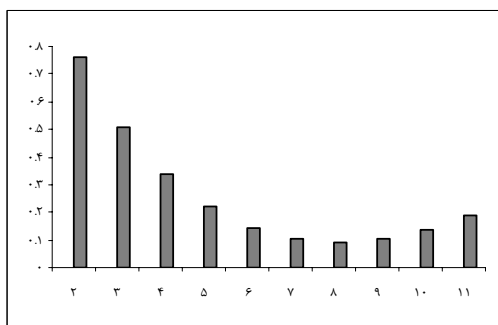
۳- مدل استاتیکی بار

در مطالعات سیستم‌های قدرت، مدل‌سازی بار را به دو بخش عمده‌ی مدل‌های استاتیکی و مدل‌های دینامیکی تقسیم می‌کنند. مدل‌های دینامیکی بار در مباحث ویژه‌ی مطالعات پایداری مورد استفاده قرار می‌گیرند و لیکن لحاظ نمودن مدل‌های استاتیکی بار بر نتیجه‌ی مطالعات پخش بار اثر می‌گذارد.

مدل استاتیکی بار، مشخصه‌های بار را در هر لحظه از زمان به صورت توابع جبری بر حسب دامنه‌ی ولتاژ شین و فرکانس در آن لحظه، بیان می‌کند. مؤلفه‌ی توان حقیقی (P) و مؤلفه‌ی توان راکتیو (Q) به

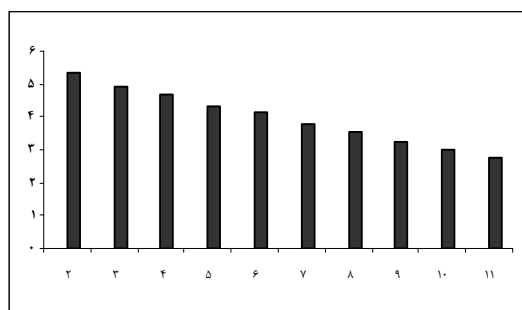
جدول ۲: نتایج توزیع بار با مدل توان ثابت

توان بار ,DG (MW)	تلفات (KW)		جایگاه قرار گیری DG (KM)	نوع توزیع بار
	با حضور DG	بدون حضور DG		
۲/۵۸	۰/۰۹۵۰	۱/۷۸۰۶	۷/۵۵۸۹ (شین ۸)	یکنواخت
۱/۹۸	۰/۰۱۹۷	۰/۲۵۹۸	۱۱/۰۱۲۳ (شین ۷)	متمرکز
۲/۵۹	۰/۰۳۶۸	۰/۸۱۱۸	۵/۲۶۷۸ (شین ۹)	افزایشی



شکل ۵: میزان تلفات توزیع بار یکنواخت (مدل توان ثابت)

شکل ۶: میزان توان DG در توزیع بار یکنواخت (مدل



توان ثابت)

همانطور که نشان داده شده است مکان قرار گیری DG در شبکه با توزیع بار یکنواخت شین شماره ۸ می باشد.

این مدل ZIP نامیده می شود، زیرا که از مؤلفه‌ی امیدانس ثابت (Z)، جریان ثابت (I) و توان ثابت (P) تشکیل شده است [۷]. پارامترهای مدل، p_1 تا p_3 و q_1 تا q_3 است سهم هر جزء را نمایش می دهند. در این مقاله برای بررسی اثر مدل استاتیک بار بر جایگاه و مقدار بهینه‌ی DG پرداخته شده است.

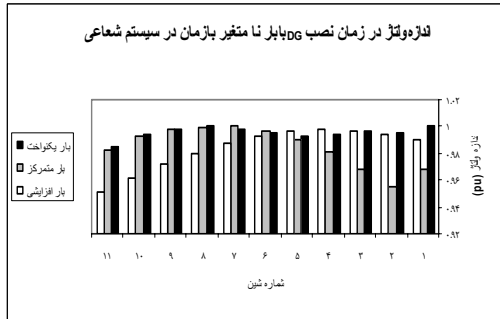
در این بخش از روش پخش بار در مکان یابی DG و بررسی قید مسئله استفاده می شود. برای سادگی کار و امکان همگرایی سریعتر در محاسبات پخش بار، سهم بار جریان ثابت در مدل بار صفر در نظر گرفته شده است. ابتدا سهم بارهای امیدانس ثابت و توان ثابت در هر یک از شین‌های بار مشخص می گردد سپس با در نظر گرفتن مقادیر اولیه‌ی P و Q طبق مشخصات سیستم مورد مطالعه محاسبات پخش بار انجام می شود پس از تعیین ولتاژ هر یک از شین‌ها، مقادیر جدید توان‌های اکتیو و راکتیو با استفاده از روابطه (۱۵) محاسبه می گردند. در صورتی که اختلاف این مقادیر P و Q با مقادیر قبلی بیش از مقدار ϵ از پیش تعیین شده باشد، مقادیر جدید P و Q به عنوان توان‌های نقاط بار در نظر گرفته شده و محاسبات پخش بار تکرار می گردند. این عمل تا زمان کمتر شدن اختلاف P و Q جدید و قدیم از مقدار ϵ ادامه می یابد.

۴- نتایج شبیه سازی در شبکه نمونه

در این بخش نتایج حاصل از اثبات فرمولهای ارائه شده در بخش قبل برای توزیع بارهای یکنواخت، افزایشی و متمرکز قبل و بعد از حضور DG برای شبکه شعاعی مطابق با شکل (۴) ارائه می شود.

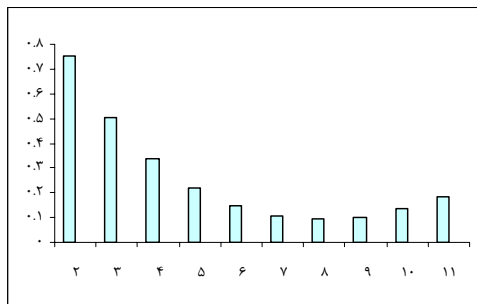
نتایج و میزان جریان تزریقی توسط DG در هر نوع توزیع بار و مدل توان ثابت برای شبکه شعاعی مورد مطالعه نشان داده می شود.

در این نوع توزیع بار جایگاه DG شین شماره ۹ میباشد. این نتیجه به دلیل افزایش مقدار بار در انتهای شبکه حاصل می شود.

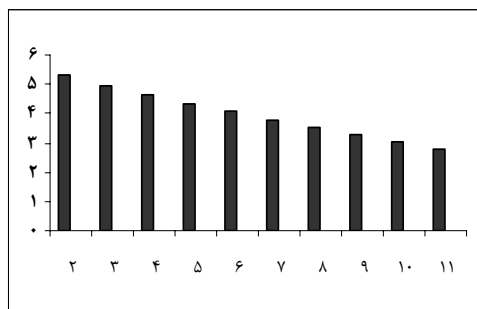


شکل ۱۱: اندازه ولتاژ (مدل توان ثابت)

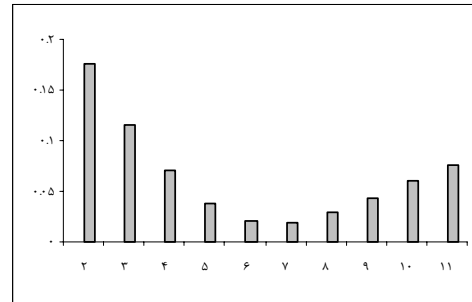
بعد از بررسی نتایج بدست آمده در توزیع بارهای مختلف در شبکه نمونه با مدل بار توان ثابت، حال می بایستی مدل واقعی بار را در نظر گرفت و در این راستا نتایج دوباره محاسبه و با مقادیر بدست آمده در بخش قبل مقایسه شود.



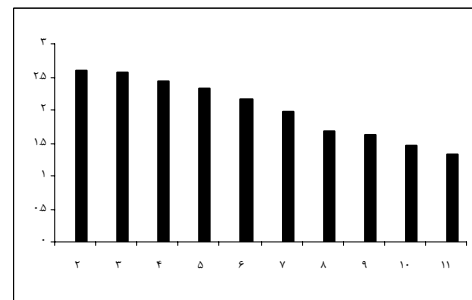
شکل ۱۲: میزان تلفات توزیع بار یکنواخت (مدل واقعی)



شکل ۱۳: میزان توان DG در توزیع بار یکنواخت (مدل واقعی)

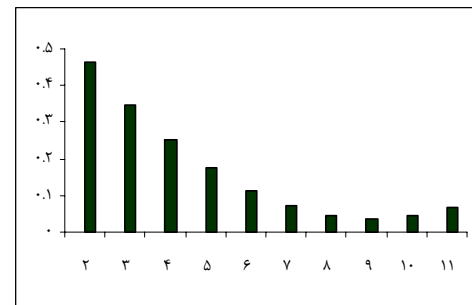


شکل ۷: میزان تلفات توزیع بار متمرکز (مدل توان ثابت)

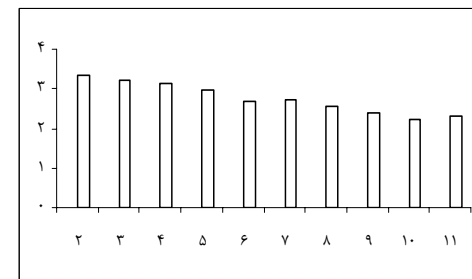


شکل ۸: میزان توان DG در توزیع بار متمرکز (مدل توان ثابت)

در این نوع توزیع بار جایگاه DG شین شماره ۷ می باشد.

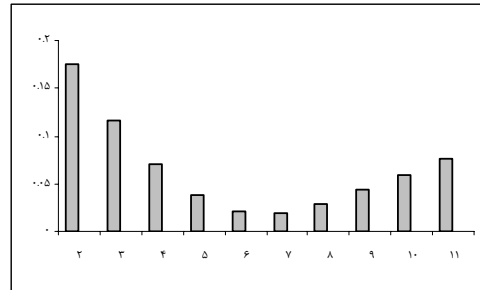


شکل ۹: میزان تلفات توزیع بار افزایشی (مدل توان ثابت)

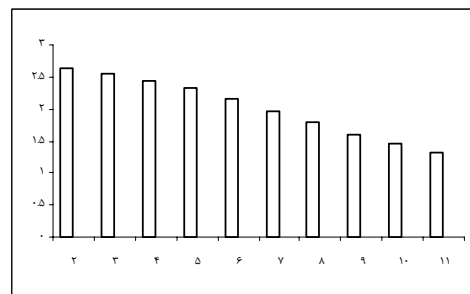


شکل ۱۰: میزان توان DG در توزیع بار افزایشی (مدل توان ثابت)

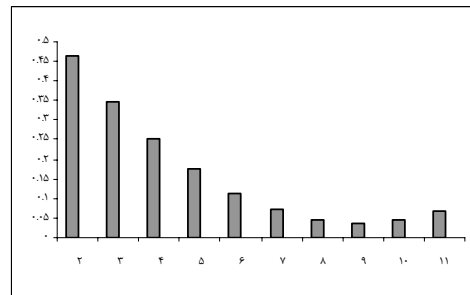
نتایج در حالت در نظر گرفتن مدل واقعی و مدل ثابت بار در توزیع بار یکنواخت تقریباً با هم برابر و مکان قرار گیری DG در هر دو حالت شین شماره ۸ می باشد.



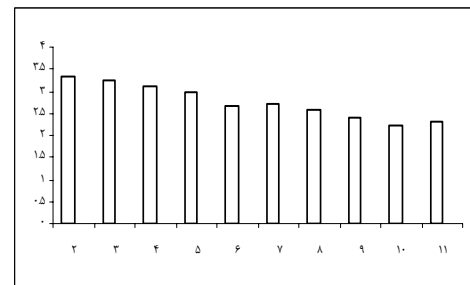
شکل ۱۴: میزان تلفات توزیع بار متمرکز (مدل واقعی)



شکل ۱۵: میزان توان DG در توزیع بار متمرکز (مدل واقعی)



شکل ۱۶: میزان تلفات توزیع بار افزایشی (مدل واقعی)



شکل ۱۷: میزان توان DG در توزیع بار افزایشی (مدل واقعی)

با مقایسه نتایج بدست آمده در دو توزیع بار متمرکز و افزایشی مانند حالت قبل مکان قرار گیری یکسان و توان DG هم با مقدار جزئی تفاوت بدست آمده است.

۵- نتیجه گیری

با افزایش میزان تقاضا و همچنین نیاز به داشتن سیستم پایدار و قابلیت اطمینان بالا، کیفیت بهتر، بهبود ولتاژ، کاهش تلفات و آلودگی هوا در این سالهای اخیر کل دنیا بیش از گذشته، به سمت استفاده از تولیدات پراکنده سوق داده شدند. استفاده از این منابع خصوصا در زمانهای اضطراری برای مصرف کننده ها و تولید کنندگان از نظر اقتصادی بسیار به صرفه است. یکی از مسائل مهم و تاثیر گذار برای حداقل سازی تلفات تعیین مکان تولیدات پراکنده در سیستمهای قدرت می باشد.

در این مقاله به بررسی اثر توزیع بار در مکان یابی تولیدات پراکنده در شبکه شعاعی با در نظر گرفتن سه نوع توزیع بار و مدل کردن بار ابتدا بصورت ثابت و سپس بصورت ترکیبی از امپدانس ثابت و توان ثابت بدست آمده است. مطابق با نتایج می توان اثبات نمود که یکی از مسائل مهم و تاثیر گذار در جایگاه DG توزیع بار می باشد.

با مقایسه نتایج، مکان قرار گیری DG برای هر سه نوع توزیع بار در دو حالت مدل بار یکسان و میزان تلفات و توان DG نیز با میزان تفاوت بسیار نا چیز از ۰/۵٪ تا حداکثر ۳٪ بدست می آید. پس برای به حداقل رساندن هزینه و مکان یابی DG بصورت دقیق با در نظر گرفتن توزیع بار می توان تممی بارهای موجود در شبکه را بصورت یکسان مدل نمود و جایگاه و توان بهینه DG را در نظر گرفتن قید ولتاژ و با هدف به حداقل رساندن تلفات شبکه محاسبه نمود.

مراجع

- [1] P.Chiradeja, " An Approach to Quantify the Technical Benefits of Distributed Generation," IEEE Transactions on Energy Conversation, Vol.19, No.4, December 2004, pp.764-773.
- [2] S.Woopark, Y.Chung, "Control Schemes of the Inverter-Interfaced Multi- Function Dispersed Generation," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.14, No.5, 2003, pp.1924-1929.
- [3] Y.Baghzouz, "Some General Rules for Distributed Feeder Interaction," IEEE, Power Engineering Society General Meeting, 2006, 18-22 June, pp. 1-4.
- [5] C.Wang, M.H.Nehrir, "Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Power Systems," IEEE Transactions on Power Systems, Vol.19, No.4, November 2004, pp.2068-2076.
- [6] T.Gozel, M.H.Hocaoglu, "Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation on Radial Feeder with Different Static Load Models," Future Power Systems, Interaction Conference on 16-18 Nov.2005, pp.1-6.
- [7] Bigges, M.C., "Constrained Minimization Using Recursive Quadratic Programming," Towards Global Optimization 1975, (L.C.W. Dixon and G.P. Szergo), North-Holland, pp.341-349.

