



جایابی بهینه‌ی منابع تولید پراکنده جهت بهبود پروفیل ولتاژ و جریان خطوط با استفاده از الگوریتم ژنتیک

نفیسه نمازی پور
دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

nafiseh_namazy@yahoo.com

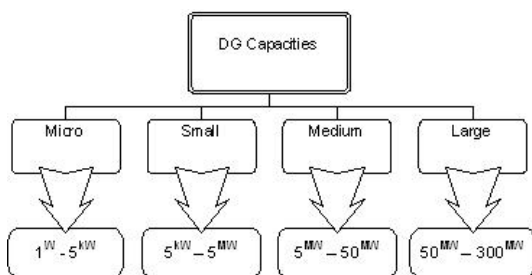
سارا آرتنگ
دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

sara_artang@yahoo.com

چکیده: با توجه به رشد سریع تولیدات پراکنده، که نتیجه‌ی مزایای فراوان آن است، ما در این مقاله به بررسی یافتن بهترین وضعیت نصب DGها جهت بهبود پروفیل ولتاژ و جریان خطوط در قالب یک شبکه‌ی ۱۳ شین که بخشی از شبکه توزیع برق شهر تهران به نام فیدر خدابنده لو می‌باشد پرداخته‌ایم. الگوریتم جایابی برای یک منبع تولید پراکنده با ظرفیت ۳۲۰۰ کیلووات و ۰/۰۲ کیلووات انجام گردیده و بهترین حالت مربوط به نصب تولید پراکنده مشخص شده است.

۲- منبع تولید پراکنده

منبع تولید پراکنده یا Distributed Generation (DG) منبع توان الکتریکی نزدیک به مصرف کننده است و مستقیماً به شبکه توزیع متصل می‌باشد. تولید پراکنده می‌تواند به صورت ابتدایی، تمام یا قسمتی از قدرت الکتریکی مورد نیاز شبکه را تأمین نماید یا به عنوان منبع تولید آماده به کار استفاده شود. [۱] [۲] فراگیرترین دسته‌بندی DGها در شکل ۱ نشان داده شده است. گستره‌ی تنوع ظرفیت از یک واحد تا تعداد زیادی از واحدهای متصل شده به یک ماژول در این سطوح وجود دارند.



شکل ۱ - دسته بندی DGها

کلید واژه - الگوریتم ژنتیک، توان اکتیو، توان راکتیو، تولید پراکنده (DG)، شین.

۱- مقدمه

در شبکه‌های توزیع امروزی، بخصوص با روند روبه رشد خصوصی‌سازی و رقابتی‌شدن بازار برق، هدف اولیه شرکت‌های توزیع، پایین آوردن هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری، نگهداری، ساخت شبکه‌ی خود و همزمان بالا بردن قابلیت اطمینان شبکه و مشترکین می‌باشد. یکی از مؤثرترین روش‌ها برای پاسخگویی به رشد بار و نیز تأمین سطح مشخصی از قابلیت اطمینان استفاده از تولیدات پراکنده است.

امروزه با تغییر ساختار سیستم‌های قدرت به منظور بهینه‌سازی آنها و تغییر ساختار از شکل سنتی به قالب جدید، استفاده از منابع تولید پراکنده اهمیت انکارناپذیری دارد.

۳- مزایای تولید پراکنده:

- بصورت متصل به شبکه و بدون عملکرد موازی که در مواقع قطعی برق شبکه اصلی روی می دهد.

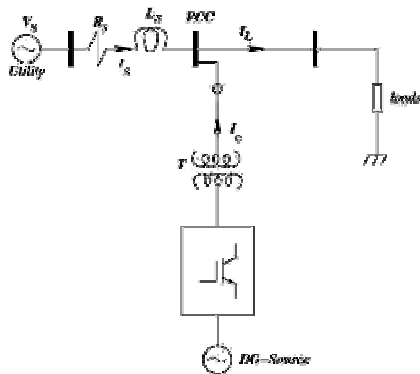
- عملکرد موازی با شبکه بدون تزریق توان اضافی به شبکه اصلی؛ در این حالت شبکه همزمان DG و شبکه توزیع را تغذیه می کنند.

- عملکرد موازی و همراه با تزریق توان اضافی به شبکه اصلی در مواقع کاهش بار مصرف کننده .

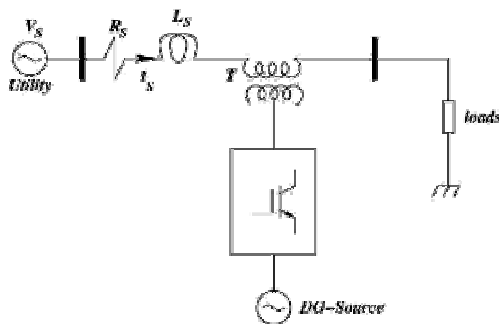
- هیچ اتصالی بین شبکه سراسری و مصرف کننده ای که از طریق DG تغذیه می شود وجود ندارد.

دو روش اتصال تولید پراکنده به شبکه های توزیع نیز در شکل ۲ نشان داده شده است [۷].

در مورد تولید پراکنده نظرات متفاوتی وجود دارد، عده زیادی مکان تولید پراکنده را در محل شبکه های توزیع می دانند و عده ای محل مناسب برای آن را در خطوط انتقال معرفی می کنند.



شکل ۲ الف- اتصال موازی



شکل ۲ ب- اتصال سری

شکل ۲ - اتصال DG به شبکه توزیع [۷]

پیش بینی می شود که تولید پراکنده سهم قابل توجهی از تولید برق آینده جهان را بر عهده بگیرد. این توسعه در بکارگیری واحدهای تولید پراکنده، دلایل مختلفی دارد، از جمله آنها می توان به عوامل زیر اشاره نمود [۱][۳][۴][۵] و [۶].

توجه به محیط زیست، آزادسازی ظرفیت سیستم، کاهش تلفات انتقال قدرت، کاهش جریان در فیدر اصلی، بهبود پروفیل ولتاژ و ضریب بار، تأخیر و یا رفع در نیاز به توسعه سیستم، بهبود قابلیت اطمینان و بازدهی شبکه، امکان کاربرد مجزا یا متصل به شبکه، اصلاح قله منحنی بار، کم کردن هزینه های مربوط به تجهیزات قدرت، تحقق خصوصی سازی واقعی با تبدیل سرمایه گذارن بزرگ به سرمایه داران کوچک، کاهش نامتعادلی ولتاژ با تزریق مستقیم توان به برخی بارها، استفاده از سیستم های تولید همزمان توان و گرما و بالا بردن راندمان، هزینه نصب و راه اندازی پایین و دوره ای زمانی نصب کوتاه، اولویت داشتن استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر.

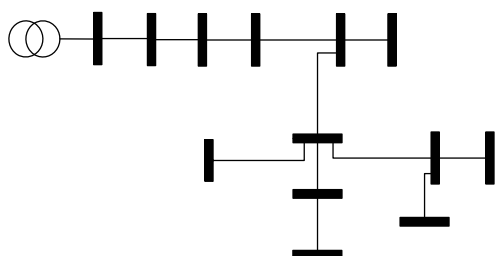
۴- جایابی منابع تولید پراکنده

با روند رو به رشد این واحدهای تولیدی، برای بهبود و افزایش بازده شبکه های توزیع، باید مدیریت ولتاژ و توان اکتیو در این بخش از سیستم قدرت مورد بازنگری قرار گیرد. در شبکه های توزیع شعاعی، هنگام طراحی امکان اتصال یک ژنراتور در سمت بار در نظر گرفته نشده است، یعنی کل شبکه بعد از پست فوق توزیع یا همان فیدر، به عنوان یک مدار پسیو در نظر گرفته شده، لذا نصب تولید پراکنده در سمت بار یا در طول فیدر تأثیر قابل توجهی در توان عبوری و ولتاژ نقاط مختلف خواهد داشت. این تأثیر می تواند در جهت بهبود وضعیت شبکه یا عکس آن باشد. به همین دلیل لازم است قبل از نصب تولیدات پراکنده تأثیر آن بر روی پروفیل ولتاژ و جریان خطوط بررسی شود. اتصال DG به شبکه های توزیع می تواند از طریق ژنراتور سنکرون، ژنراتور القایی و منابع باتری dc همراه با اینورتر صورت گیرد. DG ها به چهار طریق می توانند با شبکه کار کنند.

Line Characteristics				Bus Characteristics		
From	To	ohm R	X ohm	Bus Number	P kw	Q kvar
1	2	0.176	0.138	1	0	0
2	3	0.176	0.138	2	890	468
3	4	0.045	0.035	3	628	470
4	5	0.089	0.069	4	1112	764
5	6	0.045	0.035	5	636	378
5	7	0.116	0.091	6	474	344
7	8	0.073	0.073	7	1342	1078
8	9	0.074	0.058	8	920	292
8	10	0.093	0.093	9	766	498
7	11	0.063	0.05	10	662	480
11	12	0.068	0.053	11	690	186
7	13	0.062	0.053	12	1292	554
				13	1124	480

جدول ۱- مشخصات شین‌ها و شاخه‌های شبکه ۱۳ شین

ظرفیت ۱۶۰۰ کیلووات در نظر گرفته شده است.



شکل ۳ - دیاگرام تک خطی شبکه فیدر خدا بنده لو، تهران

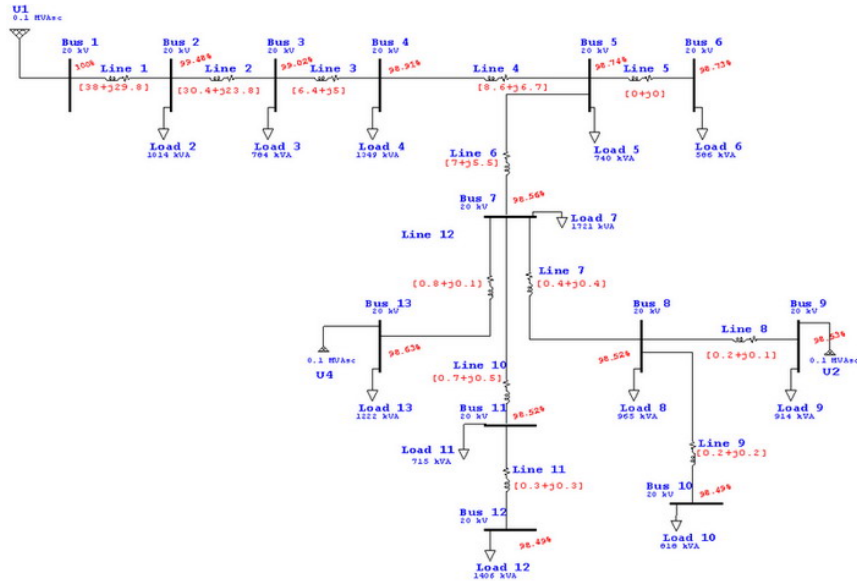
پس از اجرای الگوریتم جایابی، بهترین وضعیت، مربوط به نصب DG روی شین‌های ۹ و ۱۳ می‌باشد. در شکل ۴ نتایج حاصل از پخش بار در حضور دو منبع تولید پراکنده نشان داده شده است.

به منظور یکنواخت کردن اعداد بدست آمده در محاسبه مقادیر برازندگی، نکات زیر در نظر گرفته شده است:

در این مقاله ما به بررسی یافتن بهترین وضعیت نصب DGها و تأثیر آن بر روی پروفیل ولتاژ و جریان خطوط با استفاده از الگوریتم ژنتیک (Genetic Algorithms) می‌پردازیم.

۴-۱- شبکه‌ی ۱۳ شین

در این بخش، نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک با استفاده از نرم‌افزار MATLAB بر روی یک شبکه‌ی نمونه آورده شده است که بخشی از شبکه توزیع برق شهر تهران به نام فیدر خدا بنده لو می‌باشد. نمودار تک خطی آنرا می‌توانید در شکل ۳ مشاهده نمایید. در این شبکه یک فیدر ۲۰ کیلوولت با ۱۳ شین از پست ۶۳/۲۰ کیلوولتی در نظر گرفته شده که مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است و نتایج بدست آمده نیز به ترتیب لحاظ شده‌اند. اطلاعات این شبکه از منبع [۸] استخراج گردیده است. برای این شبکه دو منبع تولید پراکنده با



شکل ۴- پخش بار شبکه ۱۳ شین در نرم افزار ETAP

در نظر گرفتن حضور تولید پراکنده در حالت‌های مختلف، از این حداقل کم شده و بر آن تقسیم می‌شود.

با توجه به موارد فوق، مقادیر برازندگی برای کروموزوم های ایجاد شده در سیستم ۱۳ شین، بر پایه تابع هدف زیر محاسبه گردیده‌اند. در این عبارت اعداد ۱۰۰۰، ۷۰۰ و ۲۰۰، ضرایب تأکید؛ تعداد شین‌ها ۱۳ و تعداد شاخه‌ها ۱۲ می‌باشد.

$$\begin{aligned} \text{MaxF} = & \frac{1000}{\text{AVP}} \left\{ \text{Max} \left[0, \left(\frac{1}{13} \sum_{i=1}^{13} \text{Voltage\%}_{i_{\text{with DG}}} - \text{AVP} \right) \right] \right\} \\ & + \frac{700}{\text{SAP}} \left\{ \text{Max} \left[0, \left(\text{SAP} - \sum_{i=1}^{12} P_{i_{\text{with DG}}} \right) \right] \right\} \\ & + \frac{200}{\text{SRP}} \left\{ \text{Max} \left[0, \left(\text{SRP} - \sum_{i=1}^{12} Q_{i_{\text{with DG}}} \right) \right] \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

با این تابع هدف، الگوریتم نوشته شده اجرا گردیده و دو حالت برای نصب DG در نظر گرفته شد.

۱. اجرای الگوریتم جایابی برای یک منبع تولید پراکنده با ظرفیت ۳۲۰۰ کیلووات و ۰/۰۲ کیلووار انجام شد. بهترین حالت مربوط به نصب تولید پراکنده در شین هشتم می‌باشد. نتایج حاصل، در شکل‌های ۵ تا ۹ نشان داده شده است.

سه مقدار ثابت با تعریف زیر در نظر می‌گیریم:

$$\text{SAP} = \sum_{i=1}^{12} P_{i_{\text{without DG}}} \quad (1)$$

$$\text{SRP} = \sum_{i=1}^{12} Q_{i_{\text{without DG}}} \quad (2)$$

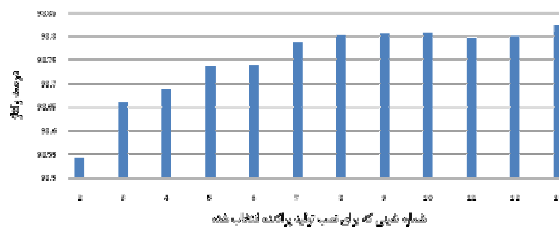
$$\text{AVP} = \frac{1}{13} \sum_{i=1}^{13} \text{Voltage\%}_{i_{\text{without DG}}} \quad (3)$$

که در این عبارات (Summation of Active Power) SAP، (Losses) بیانگر مجموع تلفات توان اکتیو، SRP، (Summation of Reactive Power Losses) بیانگر مجموع تلفات توان راکتیو و AVP (Average of Voltage Profile) بیانگر متوسط درصد ولتاژ می‌باشد. تمامی این مقادیر برای حالت پایه محاسبه می‌شوند.

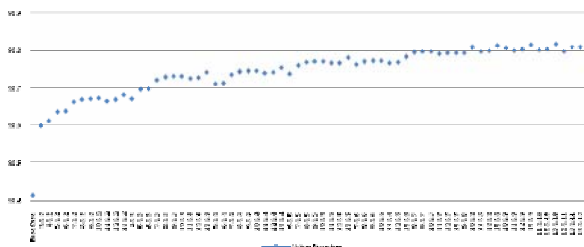
حداکثر مقدار مجموع توان‌های اکتیو و راکتیو در حالت پایه، یعنی وضعیت عدم نصب DG رخ می‌دهد. مجموع تلف توان شاخه‌ها، با در نظر گرفتن حضور تولید پراکنده در حالت‌های مختلف، از این حداکثر کم شده و بر آن تقسیم می‌شود.

حداقل متوسط درصد ولتاژ در حالت پایه یعنی وضعیت عدم نصب DG رخ می‌دهد. متوسط درصد ولتاژ شین‌ها، با

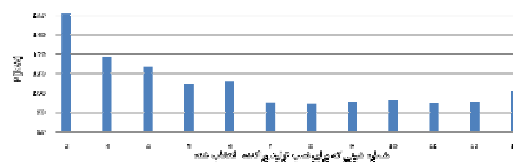
۲. اجرای الگوریتم جایابی برای دو منبع تولید پراکنده، با ظرفیت‌های یکسان ۱۶۰۰ کیلووات و ۰/۰۱ کیلووات نیز انجام شد. نقاط کاندید در خروجی برنامه، شین‌های ۱۳ و ۹ می‌باشند. نتایج بدست آمده، در شکل‌های زیر نشان داده شده‌اند.



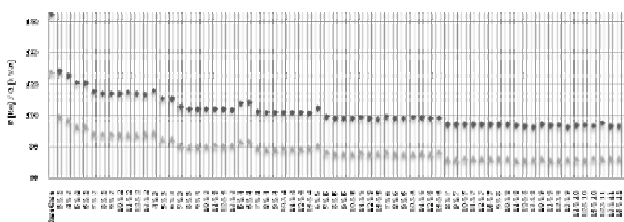
شکل ۵- متوسط درصد ولتاژ برای حالت‌های مختلف نصب یک منبع DG



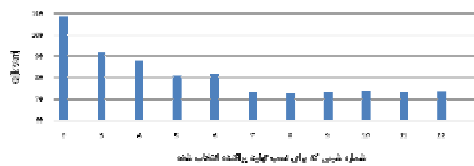
شکل ۱۰- متوسط درصد ولتاژ برای حالت‌های مختلف نصب دو منبع DG



شکل ۶- مجموع تلف توان اکتیو برای حالت‌های مختلف نصب یک منبع DG



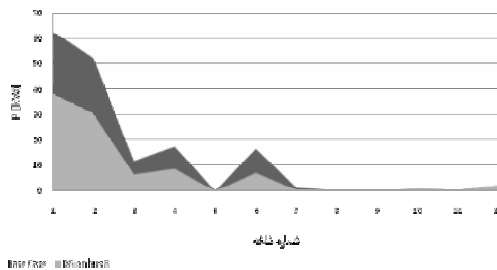
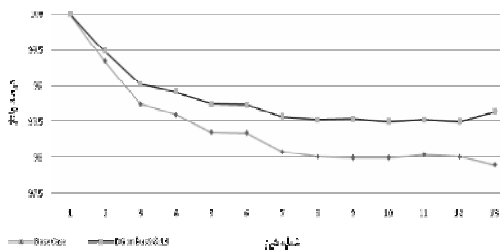
شماره شینی که برای نصب ترانسفورماتور انتخاب شده



شماره شینی که برای نصب ترانسفورماتور انتخاب شده

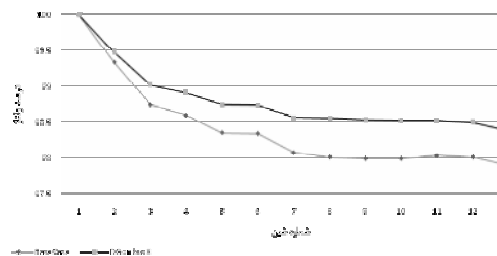
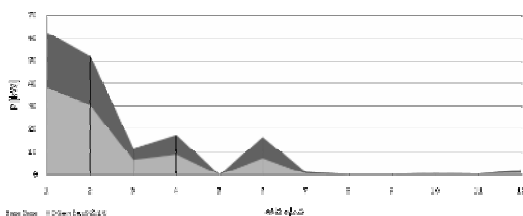
شکل ۷- مجموع تلف توان راکتیو برای حالت‌های مختلف نصب یک منبع DG

شکل ۱۱- مجموع تلف توان اکتیو و راکتیو برای حالت‌های مختلف نصب دو منبع DG



شکل ۸- مقایسه تلف توان اکتیو در حالت پایه و نصب یک منبع DG روی شین ۹

شکل ۱۲- مقایسه درصد ولتاژ در حالت پایه و نصب دو منبع DG روی شین‌ها ۹ و ۱۳



شکل ۹- مقایسه متوسط درصد ولتاژ در حالت پایه و نصب یک منبع DG روی شین ۹

شکل ۱۳- مقایسه تلف توان اکتیو در حالت پایه و نصب دو منبع DG روی شین‌ها ۹ و ۱۳

وتنها برای ارزیابی صحت مکان‌های انتخاب شده نقاط پیشنهاد شده الگوریتم ژنتیک انجام پذیرفته است.

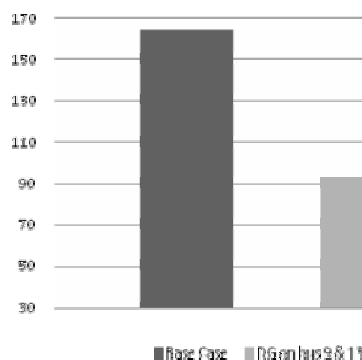
- ظرفیت تولید در اجرای الگوریتم جایابی تک منبع دقیقاً دو برابر این ظرفیت برای حالت جایابی با دو منبع می‌باشد. بنابراین در تشکیل ماتریس مذکور عناصر قطری مفهوم برهم افتادگی دو منبع 1600 kW برابر با یک منبع 3200 خواهد بود.

- به علت یکسان بودن ظرفیت دو منبع انتخاب شده در دومین جایابی، ماتریس بدست آمده، متقارن و مربعی می‌باشد. برای مثال، مؤلفه ۲ و ۴ بیانگر مقدار برآزندگی با وجود دو منبع DG با ظرفیت‌های یکسان 1600 kW روی شین‌های ۲ و ۴ خواهد بود که دقیقاً برابر مقدار برآزندگی لحاظ شده در مؤلفه ۴ و ۲ است. مقادیر این ماتریس به صورت جدول ۲ می‌باشد.

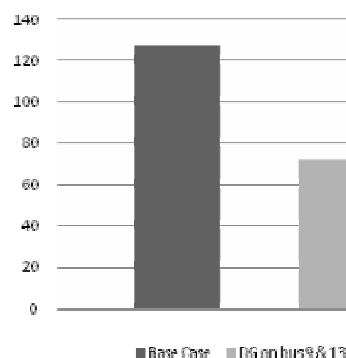
۵- نتیجه‌گیری

- الگوریتم ژنتیک، در جعبه ابزار MATLAB وجود دارد. اما برای بکارگیری آن نیاز به فرموله شدن کامل مسئله می‌باشد که با توجه به طرح گسسته مسئله مکان‌یابی و استفاده از پخش بار، در ارزش‌دهی مقادیر برآزندگی استفاده از آن مقدور نمی‌باشد.

- بعضی از تکنولوژی‌های تولید پراکنده مانند توربین‌های بادی و سلول‌های فتوولتاییک به شدت به وضعیت اقلیم منطقه نصب شده وابسته‌اند، بنابراین نمی‌توان انتظار خروجی توان و ولتاژ ثابت دائم از آنها داشت. اگرچه استفاده از باتری‌ها و رگولاتورها در کنار این تکنولوژی‌ها تا حدی این نقیصه را مرتفع ساخته‌است، اما در موارد جایابی مختص به این تکنولوژی‌ها باید به این محدودیت توجه داشته باشیم.

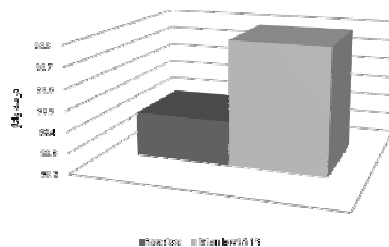


شکل ۱۴ الف- مجموع تلف توان اکتیو



شکل ۱۴ ب- مجموع تلف توان راکتیو

شکل ۱۴- تلف توان اکتیو و راکتیو در حالت پایه و نصب دو منبع DG روی شین‌های ۹ و ۱۳



شکل ۱۵-مقایسه متوسط درصد ولتاژ در حالت پایه و نصب دو منبع DG روی شین‌های ۹ و ۱۳

در صورتیکه تمامی مقادیر برآزندگی بدست آمده از دو تحلیل جایابی فوق را توأم در نظر بگیریم، می‌توان آن را در یک ماتریس فرض کرد که در آن توجه به نکات زیر ضروری است (جدول ۲):

- این مقادیر با غیرفعال کردن عملگرهای الگوریتم ژنتیک و تبدیل آن به جستجوی مستقیم بدست آمده است

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	133.81	200.69	216.59	244.17	243.18	274.53	279.83	279.43	279.28	277.73	278.92	280.25
3	200.69	255.66	271.71	299.3	298.31	329.81	335.11	335.71	334.41	332.86	334.05	335.53
4	216.59	271.71	284.29	311.89	310.9	342.38	347.68	346.86	346.71	345.59	346.36	348.25
5	244.17	299.3	311.89	332.55	331.56	363.04	368.35	367.94	367.97	366.42	367.6	369.34
6	243.18	298.31	310.9	331.56	327.64	362.63	367.51	367.38	366.81	365.86	367.03	368.35
7	274.53	329.81	342.38	363.04	362.63	385.15	390.61	390.05	389.48	388.51	389.7	389.7
8	279.83	335.11	347.68	368.35	367.51	390.61	390.1	389.7	389	393.39	395	396.32
9	279.43	335.71	346.86	367.94	367.38	390.05	389.7	384.06	388.99	393.41	394.6	396.35
10	279.28	334.41	346.71	367.97	366.81	389.48	389	388.99	381.44	392.84	394.29	395.62
11	277.73	332.86	345.59	366.42	365.86	388.51	393.39	393.41	392.84	386.82	388.16	394.07
12	278.92	334.05	346.36	367.6	367.03	389.7	395	394.6	394.29	388.16	384.53	394.07
13	280.25	335.53	348.25	369.34	368.35	389.7	396.32	396.35	395.62	394.07	394.07	361.48

جدول ۲

(N-1) باشد (در شین اصلی منبعی نصب نمی‌شود)، در این صورت طول هر رشته برابر با N-1 خواهد بود. چنانچه اعداد ۱ و ۲ و ۳ ... معرف مقدار ظرفیت هر کدام از واحدهای ماژولار مربوط به یک نوع واحد DG باشد، به این ترتیب روش کدگذاری به این صورت است که برای هر حالت از نصب منابع DG در شبکه یک رشته یا کروموزم با طول N-1 نسبت داده می‌شود که هر بیت کروموزم بیانگر ظرفیت توان نصب شده DG در شین مربوطه است و اگر چنانچه در بیتی عدد صفر قرار بگیرد بیانگر این مطلب است که هیچ‌گونه منبع DG در شین مربوطه قرار نگرفته است. شبکه توزیع نمونه و کروموزم مربوط به آن در شکل ۱۶ نشان داده شده است. این کروموزم بیان می‌دارد که در شین‌های ۸ و ۱۲، DG نصب شده است.

- در این تحقیق جایابی با هدف بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات توان مورد بررسی قرار گرفت که در آن ظرفیت منبع یا مابح تولید پراکنده برای اجرای الگوریتم از معلومات به شمار می‌رود و نتایج، برطبق قطعیت ظرفیت تولید توان بدست آمده‌اند.

- از محدودیت‌ها در اجرایی شدن استفاده از تولیدات پراکنده، ابعاد لازم برای نصب یک تکنولوژی خاص است. به عنوان مثال نمی‌توان یک مزرعه‌ی بادی را در کنار یک پست شهری به راه انداخت و یا حتی در بعضی موارد بکارگیری DG بواسطه محدودیت فضا و بالا بودن قیمت محل نصب توجیه اقتصادی ندارد و برای تصمیم‌گیری نیاز به مهندسی ارزش می‌باشد.

- نبود بانک اطلاعات به روز و در دسترس از مشخصات شبکه‌های توزیع در شهرهای مختلف کشور، نقیصه‌ای در استمرار ارتباط میان تحقیقات دانشگاهی در حوزه مهندسی قدرت و صنعت برق به حساب می‌آید. برای کاربردی کردن تحقیقات تئوریک دانشگاهی، وجود چنین اطلاعاتی منطبق با واقعیت، ضروری است.

- در مسئله جایابی DG، طول هر کروموزم برابر با تعداد کل شین‌های سیستم است. شکل زیرمی‌تواند گویای این مطلب باشد.

- اگر تعداد شین‌های موجود در شبکه را N فرض کنیم و تعداد شین‌های کاندید برای نصب منابع DG نیز

[5] Barker P.P.; De Mello R.W.; "Determining the impact of distributed generation on power systems: Part 1-Radial distribution systems", PES Summer Meeting, Vol. 3, pp.1645-1656, IEEE 2000

[6] Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets; available in International Energy Agency; <http://www.iea.org/>

[7] Marei M. I., El-Saadany E. F., Salama M. M. A.; "Flexible Distributed Generation: (FDG)", University of Waterloo, Canada; IEEE 2002

[۸] علی خواجه کازرونی، "جایابی بهینه خازنهای ثابت و قابل سویچ زنی در شبکه‌های توزیع"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق، دانشگاه تربیت مدرس، زمستان ۱۳۸۰

[9] Mithulananthan N., Than O.; "Distributed generator placement to maximize the loadability of a distribution system", International Journal of Electrical Engineering Education; Volume 43 Issue 2, pp 107-118, April 2006

[10] Junginger, Hans Martin; "Learning in renewable energy technology development" Thesis for realized within the frame work of 'Stimuleringprogramma Energieonderzoek'; Utrecht University, Netherland; May 2005

[11] World Energy Council available on: <http://www.worldenergy.org>

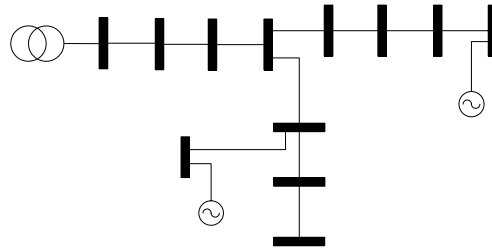
[12] Ackermann T., Andersson G., Söder L.; "Distributed generation: a definition", Electric Power Systems Research 57 195-204; December 2000

[13] Kojovic L.; "Modeling of DG to interface with distribution system"; Cooper Power Syst., Franksville, WI, USA; Power Engineering Society Summer Meeting; vol.1 179- 180 vol.1; IEEE 2002

[14] Kojovic L.; "Modeling Requirements to Study Interactions of DG and Distribution Systems"; Cooper Power Syst., Franksville, WI, USA; Power Engineering Society Summer Meeting; vol.1 pp 447- 448 IEEE 2002

[15] Iran Water and Power Recourses Development Co. available on: www.iwpc.com

[16] Singh H., Liu H., Klingensmith W.N.; "Three pahse power flow distribution systems with Dispersed Generation"; 14th PSCC sevilla, 24-28 June 2002



شکل ۱۶- کد کردن شبکه قدرت برای ایجاد کروموزوم در الگوریتم ژنتیک

- به عنوان پیشنهادی برای ادامه کار می توان در شبکه‌های قدرت مورد مطالعه، از ظرفیت‌های مختلف تولید پراکنده استفاده کرد و در محدوده‌ای که منبع همچنان در گستره تولید پراکنده باشد، مکان‌یابی را تکرار نمود. به نظر می رسد، نحوه‌ی تعریف مسئله مذکور و تکرار بالای پخش بار، منجر به حجیم شدن محاسبات در الگوریتم ژنتیک گردد، که برای رفع این مشکل نیز می توان از روش‌های تحلیلی و عددی جایابی و یا از تلفیق الگوریتم ژنتیک با روش‌های دیگر استفاده کرد.

مراجع

- [1] Pepermans G., Driesen J., Haeseldonckx D., Belmans R., D'haeseleer W.; "Distributed generation: definition, benefits and issues", Energy Policy 2005; 33(6):787-98.
- [2] El-Khattam W., Salama M.M.A., "Distributed generation technologies, definitions and benefits", Electric Power System Res 71, pp 119-128, 2004
- [3] Raj Kumar Jaganathan; "Power system analysis of grid connected embedded generators", Bachelor of Engineering Thesis; Univesity of Queensland; Australia; October 2002
- [4] Poullikkas A.; "Implementation of distributed generation technologies in isolated power systems", Renewable and Sustainable Energy Reviews vol. 11 pp 30-56; January 2006; Elsevier