98-F-PSS-346

ارزیابی اقتصادی تاثیر خروج ژنراتورها و خطوط انتقال در امنیت شبکه

رضا قاضی
استاد گروه برق
rghazi@um.ac.ir

محسن قاینی صوفی آبادی
دانشجوی دکترای برق قدرت
mo_gh82@stu-mail.um.ac.ir

گروه مهندسی برق
دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

واژه‌های کلیدی: ارزیابی اقتصادی– امنیت شبکهٔ انتقال– خروج ژنراتور و خط انتقال– رتبه‌بندی خطوط

چکیده

در این مقاله با بررسی تاثیر خروج ژنراتورها و خطوط بر روی پارامترهای اقتصادی سیستم، اهمیت ژنراتورها و خطوط در امنیت شبکه مشخص می‌شود. در اثر خروج اجباری یا برنامه‌ریزی شدهٔ عناصر اصلی سیستم قدرت یعنی ژنراتورها، خطوط انتقال و ترانسفورماتورها سیستم متحمل افزایش هزینه خواهد شد. افزایش هزینه می‌تواند در نتیجه افزایش هزینهٔ تولید ناشی از تغییر آرایش تولید، افزایش تلفات سیستم انتقال و یا افزایش در هزینه‌های انتقال باشد. با ارزیابی اقتصادی از خروج عناصر اصلی و تاثیر آنها بر هزینه‌های سیستم می‌توان آنها را رتبه‌بندی نمود. از این رتبه‌بندی می‌توان بمنظور برنامه-ریزی تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه و ارائهٔ سیگنالهای اقتصادی به بازیگران جهت سرمایه‌گذاری در توسعهٔ شبکهٔ انتقال استفاده نمود.

۱- مقدمه

ارزیابی امنیت یکی از مسایل ضروری، کلیدی و چالش بر انگیز بهره‌برداران مستقل بازار است. بهره‌برداران باید سیستم را در یک حالت اقتصادی و البته بدور از خطرات امنیتی بهره-برداری کنند. درنظر گرفتن معیار و سطح امنیت شبکه بستگی به میزان محافظه‌کاری دارد اما باید توجه داشت که حداقل حاشیهٔ امنیت n-1 باید در نظر گرفته شود[۱] . یکی از مهمترین مسایل در امنیت شبکه بررسی اثرخروج تجهیزات بر روی پارامترهای سیستم است. ارزیابی امنیت وابستگی شدیدی به ساختار و قوانین بازار دارد. مرجع [۲] نقش تخمین‌گر حالت و آنالیز امنیت شبکه در بازارهای برق را بطور خلاصه بیان می‌کند. بعنوان مثال در بازار برق اسپانیا تعدادی از اتفاقات امنیتی در نظرگرفته شده عبارتند از: خروج ژنراتور، خط انتقال یا ترانسفورماتور، از دست دادن همزمان

یک خط انتقال با یک ژنراتور و از دست دادن مدارهای دوبل که بیش از ۳۰ کیلومتر طول دارند[۳].

خروج ژنراتور و خط ممکن است منجر به اضافه بار در تعدادی از خطوط و یا انحراف ولتاژ باسها از محدودهٔ مجازشان شود[۴].

در بررسی اثر خروج، روشهای مختلفی ارایه شده است. روشهای مبتنی بر فاکتور توزیع معمول[1] و پخش بار DC راه حلهای سریعی برای بررسی شارش توان اکتیو هستند اما هیچکدام قادر به بررسی پخش توان راکتیو و درنتیجه آنالیز امنیت ولتاژ نیستند. برای این منظور روشهای پخش بار AC مورد استفاده قرار گرفتند و بتدریج بدنبال آن بودند تا با ایجاد تغییراتی به الگوریتم خود سرعت ببخشند[۵]. در مقالاتی که در سالهای اخیر در زمینهٔ ارزیابی تاثیرات خروج تجهیزات منتشر شده است اغلب از پخش بار بهینه(OPF[2]) استفاده شده است[۶]. همچنین با توجه به ماهیت تصادفی خروج اجباری تجهیزات و وجود دیگر عدم‌قطعیتها در ارزیابی امنیت و بررسی خروج، بررسیهای احتمالی نیز اطلاعات مفیدی را ارایه می‌دهند[۷].

در مطالعات انجام شده بررسی اثر خروج خط و ژنراتور بصورت قطعی و فقط بر روی تعدادی از پارامترها همچون تلفات شبکه و قیمت توان در باسها انجام شده است. در این مقاله ضمن اینکه اثر خروج خط و ژنراتور را بطور کاملتر و بر روی پارامترهای دیگری مانند هزینهٔ تولید و هزینهٔ پرشدگی بررسی شده است مساله با دیدگاه احتمالی و با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی مونت‌کارلو نیز مورد بررسی قرار گرفته است. خروج اجباری یا برنامه‌ریزی شدهٔ خطوط و ژنراتورها سبب تغییر در آرایش تولید ژنراتورها می‌گردد که این تغییر آرایش می‌تواند موجب افزایش هزینهٔ تولید، تلفات و هزینهٔ انتقال گردد. در این مقاله با ارزیابی اقتصادی از خروج ژنراتورها و خطوط اطلاعات مفیدی در جهت رتبه-بندی آنها بدست می‌آید که می‌تواند سیگنالهای مناسبی جهت برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و همچنین توسعهٔ شبکهٔ انتقال فراهم آورد.

1. Traditional Distribution Factor
2. Optimal Power Flow

۲- مدل خروج خط و ژنراتور

خروج خط و ژنراتور از دو دیدگاه قطعی و احتمالی قابل بررسی است. در دیدگاه قطعی ژنراتورها و خطوط انتقال بصورت قطعی و تک‌تک از شبکه خارج شده و اثرات آنها بررسی می‌گردد. در مرجع [۸] برای مدل کردن خروج خط از مدل تزریق منابع استفاده شده است. در مرجع [۹] از روش اصلاح ماتریس امپدانس Z_{bus} برای مدل کردن خروج خط و ژنراتور استفاده شده است که در این مقاله نیز این روش بکار گرفته شده است. در دیدگاه احتمالی برای ژنراتورها و خطوط یک نرخ خروج تعریف می‌شود و با استفاده از تکنیک شبیه-سازی مونت‌کارلو بررسیها صورت می‌گیرد. در این حالت ممکن است دو عنصر بطور همزمان نیز از شبکه خارج شود.

۳- پخش بار بهینه

برای بررسی تاثیرات خروج ژنراتورها و خطوط از پخش بار بهینه استفاده شده است. مسالهٔ پخش بار بهینه، یک مسالهٔ بهینه سازی غیرخطی است که بصورت کلی زیر قابل بیان است:

$$\begin{aligned} &\text{Min} && f(x) \\ &\textbf{Subject to:} && g(x)=0 \\ &&& h(x)<0 \\ &&& x_{min}<x<x_{max} \end{aligned} \qquad (۱)$$

تابع هدف را می توان ماکزیمم کردن رفاه اجتماعی در نظر گرفت ولی چون در این مقاله فقط سمت تولید مورد بحث است، تابع هدف، مینیمم کردن هزینهٔ تولید درنظر گرفته شده است:

$$C=\sum_{i=1}^{N_g} C_i(P_{g_i})\ \text{Min} \qquad (۲)$$

قیود مساوی در مساله، مربوط به روابط پخش توانهای اکتیو و راکتیو در باس‌ها می‌باشد که برای باس i بصورت زیر قابل بیان است:

$$P_{gi} - P_{di} - \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = 0 \quad (۳)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} + \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = 0 \quad (۴)$$

قیود نامساوی مربوط به حدود توان تولیدی ژنراتورها، حدود اندازهٔ ولتاژ، حدود زاویهٔ ولتاژ و حداکثر توان قابل انتقال خطوط است که بصورت زیر قابل بیان است:

$$P_{gi}^{\min} \le P_{gi} \le P_{gi}^{\max} \quad (۵)$$

$$Q_{gi}^{\min} \le Q_{gi} \le Q_{gi}^{\max} \quad (۶)$$

$$V_i^{\min} \le V_i \le V_i^{\max} \quad (۷)$$

$$\delta_i^{\min} \le \delta_i \le \delta_i^{\max} \quad (۸)$$

$$|S_{ij}| \le |S_{ij}^{\max}| \quad (۹)$$

پخش بار بهینه تاکنون با روشهای متعدد کلاسیک و هوشمند حل شده است و با توجه به اینکه در این مقاله روش حل از اهمیت زیادی برخوردار نبوده، مساله با استفاده از روش کلاسیک حل شده است.

۴- بررسی تاثیر خروج بر روی پارامترهای سیستم

بمنظور رتبه‌بندی ژنراتورها و خطوط در امنیت سیستم بنحوی که ضمن حفظ امنیت سیستم، هزینه نیز حداقل گردد، لازم است تاثیر خروج بر روی پارامترهای اقتصادی سیستم که شامل هزینهٔ تولید، هزینهٔ انتقال و هزینهٔ تلفات است مورد بررسی قرار گیرد که نحوهٔ محاسبهٔ آنها به شرح ذیل خواهد بود.

۴-۱- هزینهٔ تولید توان اکتیو

هزینهٔ تولید توان اکتیو با استفاده از منحنی هزینهٔ ژنراتورها محاسبه می‌گردد و تابع هدف OPF است. بنابراین مقدار آن از برنامهٔ OPF بدست می‌آید.

۴-۲- هزینهٔ تولید توان راکتیو

در زمینهٔ قیمت‌گذاری توان راکتیو الگوریتمهای مختلفی ارائه شده است و هم‌اکنون نیز مطالعات زیادی در این زمینه صورت می‌گیرد. در این مقاله از رابطهٔ زیر برای محاسبهٔ هزینهٔ تولید توان راکتیو استفاده شده است[۱۲]:

$$\text{Cost}(Q) = 0.05bQ^2 \quad (۱۳)$$

که در آن ثابت b مربوط به ضریب P در تابع هزینهٔ توان اکتیو ژنراتور است.

۴-۳- بخش متغیر قیمت انتقال[1]

یکی از پارامترهای هزینهٔ سیستم، هزینهٔ انتقال است. یکی از روشهای تعیین هزینهٔ انتقال در سیستمهای قدرت، روش قیمت حاشیه‌ای محلی(LMP[2]) می‌باشد که با استفاده از این روش می‌توان قسمت متغیر قیمت انتقال توان را بین هر دو نقطه از سیستم محاسبه نمود. قیمت حدی در هر باس، میزان افزایش حدی در هزینهٔ کل سیستم است که شامل هزینهٔ حاشیه‌ای تولید، هزینهٔ حاشیه‌ای تلفات و هزینهٔ پرشدگی می باشد. قیمت حاشیه‌ای برای اکتیو و راکتیو در باس i بصورت زیر قابل بیان است[۱۰]:

$$LMP_{p_i} = \frac{\partial L}{\partial P_i} \quad (۱۰)$$

$$LMP_{q_i} = \frac{\partial L}{\partial Q_i} \quad (۱۱)$$

که در آن L تابع لاگرانژ است و بیانگر جمع کل هزینه‌ها با در نظرگرفتن قیود بهره‌برداری می‌باشد. اگر بخواهیم بصورت تقریبی LMP را محاسبه کنیم می‌توان از روش افزایش ۱مگاوات و محاسبهٔ تغییر هزینهٔ تولید استفاده نمود که در مرجع [۱۱] بطور کامل توضیح داده شده است ولی استفاده از تابع لاگرانژ برای محاسبهٔ LMP دقیق‌تر است. اگر در خطوط پرشدگی وجود نداشته باشد و از تلفات نیز صرف‌نظر شود، این قیمت در کلیهٔ باس‌ها برابر خواهد بود.

1. Nodal Price
2. Locational Marginal Price

با این تعاریف هزینهٔ متغیر انتقال توان برای واحد توان در خط ij را می‌توان بصورت زیر تعریف نمود:

$$C(T) = LMP_i - LMP_j \quad (۱۲)$$

که LMP_i و LMP_j به ترتیب قیمت حاشیه‌ای در باس‌های i و j می‌باشند.

۴-۴- هزینهٔ تلفات

این هزینه شامل هزینهٔ تلفات اکتیو($C(P_{loss})$) و هزینهٔ تلفات راکتیو($C(Q_{loss})$) است. هزینهٔ مربوط به تلفات را می‌توان با محاسبهٔ سهم هر ژنراتور از تلفات و ضرب آنها در تابع هزینهٔ ژنراتور بدست آورد که مقدار آن از برنامهٔ OPF قابل محاسبه است.

۵- رتبه‌بندی ژنراتورها و خطوط

با توجه به تاثیری که خروج ژنراتورها و خطوط بر روی پارامترهای اقتصادی سیستم دارد می‌توان آنها را رتبه‌بندی نمود. برای اینکه براساس یک معیار ژنراتورها و خطوط مرتب شود، می‌توان همهٔ پارامترها را به هزینه تبدیل کرد و معیار را تغییرات هزینهٔ کل سیستم شامل تغییر درهزینهٔ تولید انرژی، هزینهٔ تولید توان راکتیو، هزینهٔ مربوط به تلفات اکتیو و راکتیو و هزینهٔ انتقال در نظرگرفت و بصورت زیر تعریف نمود:

$$\Delta C = \sum_{i=1}^{N_g} C(P_i) + \sum_{i=1}^{N_g} C(Q_i) + C(T) + C(Ploss) + C(Qloss) \quad (۱۴)$$

که در آن C(T) بیانگر قسمت متغیر هزینهٔ انتقال است که در بخش۴ در مورد محاسبهٔ آن توضیح داده شد.

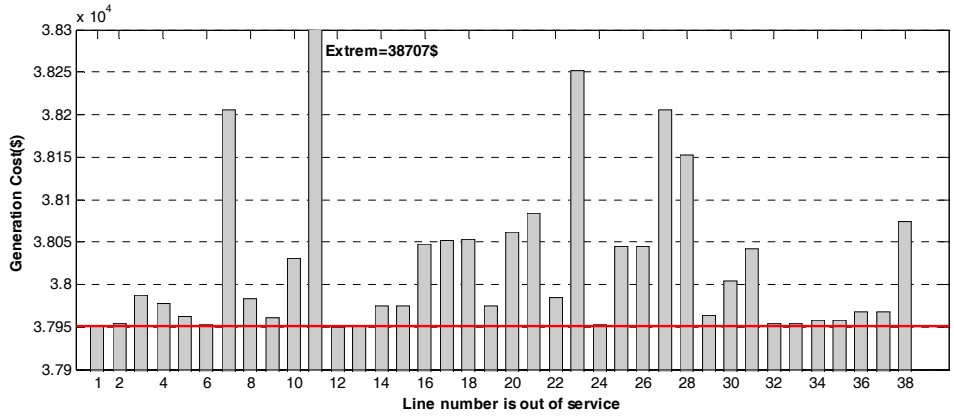
۶- سیستم مورد مطالعه

برای بررسی مطالعات از شبکهٔ ۲۴ باسهٔ IEEE استفاده شده است. دیاگرام تک خطی این شبکه در شکل۱۷(صفحهٔ آخر) آورده شده است. این شبکه دارای۳۸ خط انتقال، ۱۰ باس تولیدی و ۱۸ باس بار است. در این شبکه ۲۸۵۰ مگاوات توان اکتیو مصرفی داریم که بر روی ۱۸ باس پخش شده‌اند. همچنین شبکه دارای ۲۷ واحد تولیدی است که در ۱۰ باس قرار دارند. اطلاعات کامل مربوط به این شبکه در مرجع [۱۳] آورده شده است. حداقل تولید ژنراتورها صفر فرض شده است تا امکان خارج کردن آنها از شبکه وجود داشته باشد. تابع هزینهٔ ژنراتورها از مرجع [۱۴] قابل دستیابی است. ابتدا OPF برای حالت عادی شبکه که تمامی ژنراتورها و خطوط در شبکه باشند انجام می‌گیرد و سپس خروج ژنراتورها و خطوط با دو دیدگاه قطعی و احتمالی مورد بررسی قرار گرفته و با هم مقایسه می‌شوند.

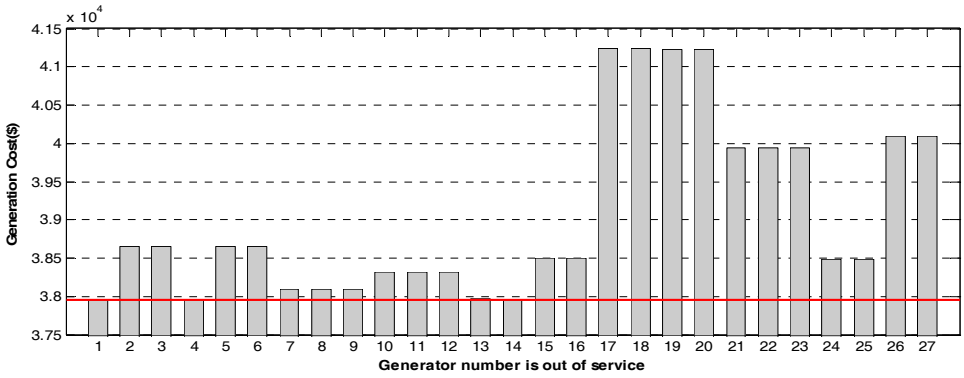
۶-۱- دیدگاه قطعی:

در این حالت تک‌تک ژنراتورها و خطوط بصورت قطعی از شبکه خارج می‌شود و با انجام OPF پارامترهای هزینهٔ سیستم بدست می‌آید. در شکلهای ۱و۲ بترتیب تاثیر خروج خطوط و ژنراتورها بر هزینهٔ تولید توان اکتیو رسم شده است. هزینهٔ تولید در حالت پایه ۳۷۹۵۱ دلار است. دیده می‌شود که در بین خطوط، خروج خط۱۱ و در بین ژنراتورها، واحدهای تولیدی ۱۷تا۱۹ بیشترین افزایش هزینه را موجب می‌شود.

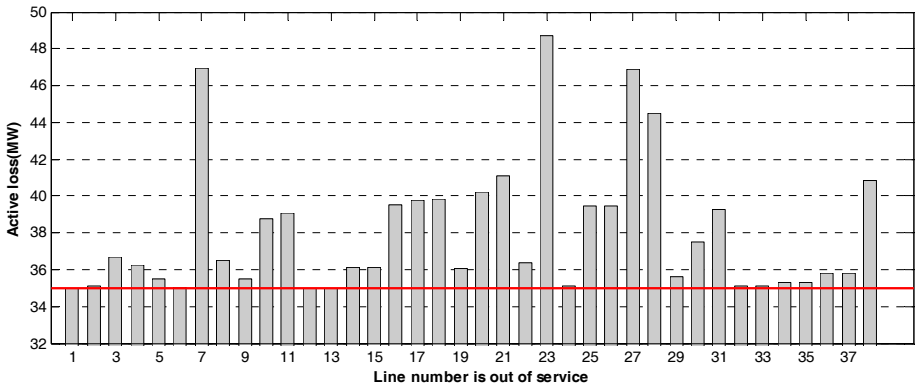
تلفات انتقال یکی از پارامترهای کلیدی سیستم قدرت است. در این مطالعه تلفات ZI^2 فرض شده است. در شکلهای ۳ تا۶ تاثیر خروج خطوط و ژنراتورها بر روی تلفات اکتیو و راکتیو بررسی شده است. در حالت پایه تلفات اکتیو ۳۴/۹۸۵ مگاوات و تلفات راکتیو ۳۴۰/۱۱ مگاوار است که در این شکلها نیز با خط مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که خروج خط همیشه سبب افزایش تلفات اکتیو می‌شود که بیشترین افزایش مربوط به خط۲۳ است که با خروج آن تلفات اکتیو به ۴۸/۷ و تلفات راکتیو به ۴۴۳/۶ می‌رسد. ولی در مورد خروج ژنراتور حالاتی وجود دارد که خروج واحدهای تولیدی سبب کاهش تلفات می‌گردد که در شکلهای ۵و ۶ بطور واضح مشخص است. با توجه به نتایج نمی‌توان یک رابطهٔ مشخصی را بین خروج خط یا ژنراتور و میزان تغییر در تلفات بیان نمود.



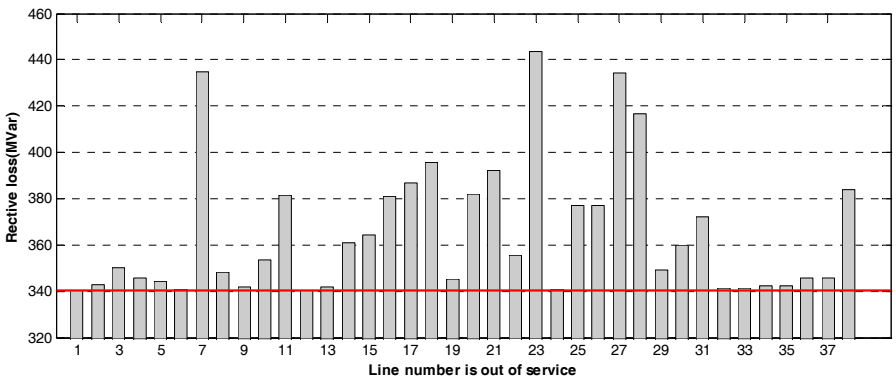
شکل۱- تاثیر خروج خطوط بر هزینهٔ تولید توان اکتیو



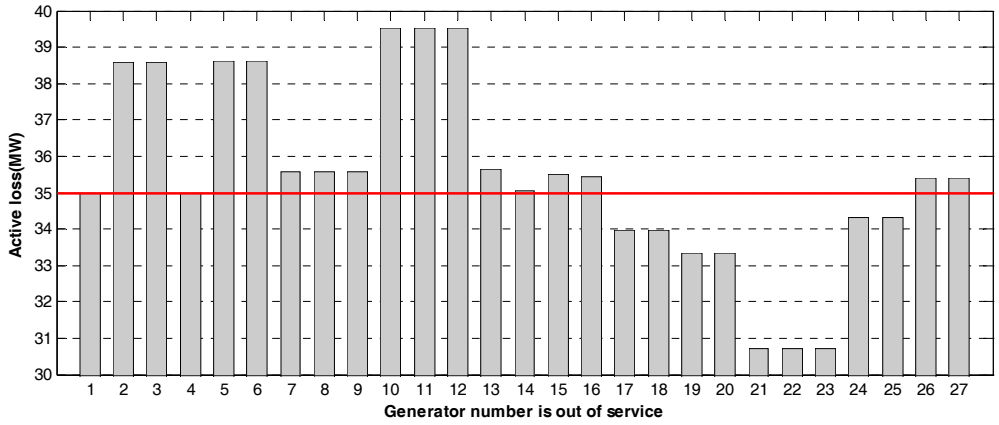
شکل۲- تاثیر خروج ژنراتورها بر هزینهٔ تولید توان اکتیو



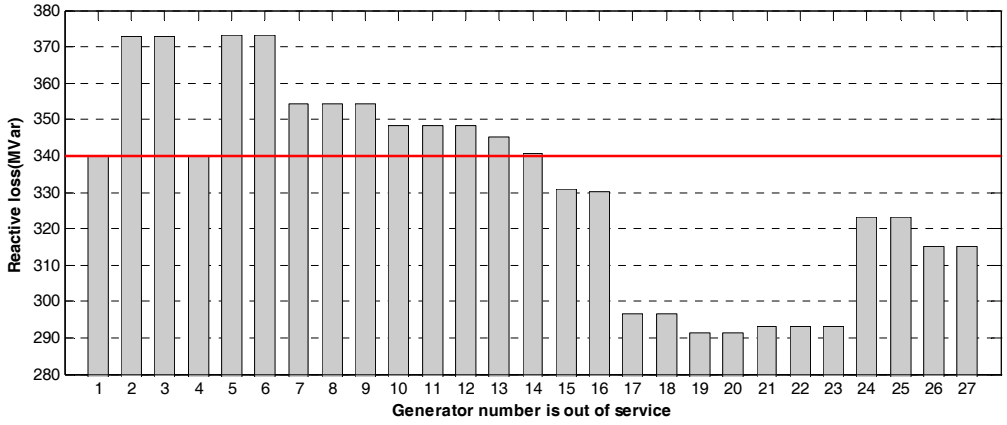
شکل۳- تاثیر خروج خطوط بر تلفات اکتیو



شکل۴- تاثیر خروج خطوط بر تلفات راکتیو

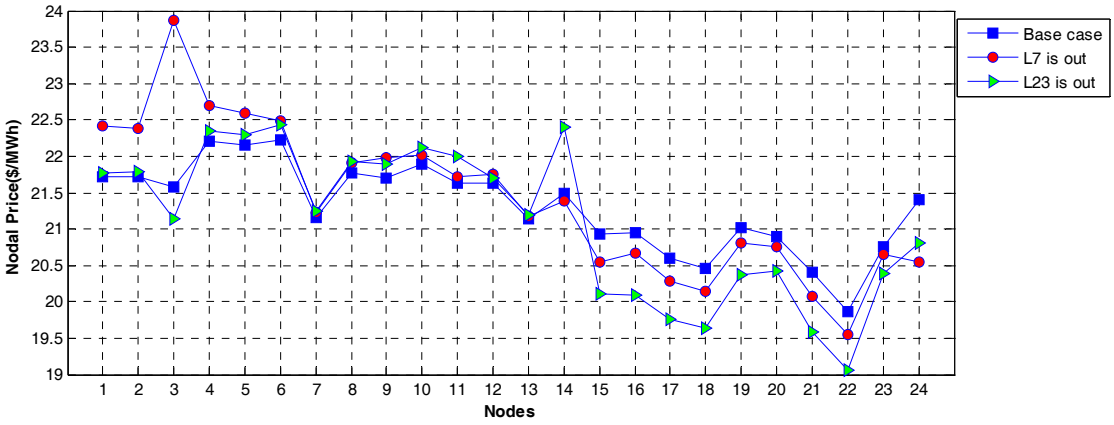


شکل۵- تاثیر خروج ژنراتورها بر تلفات اکتیو

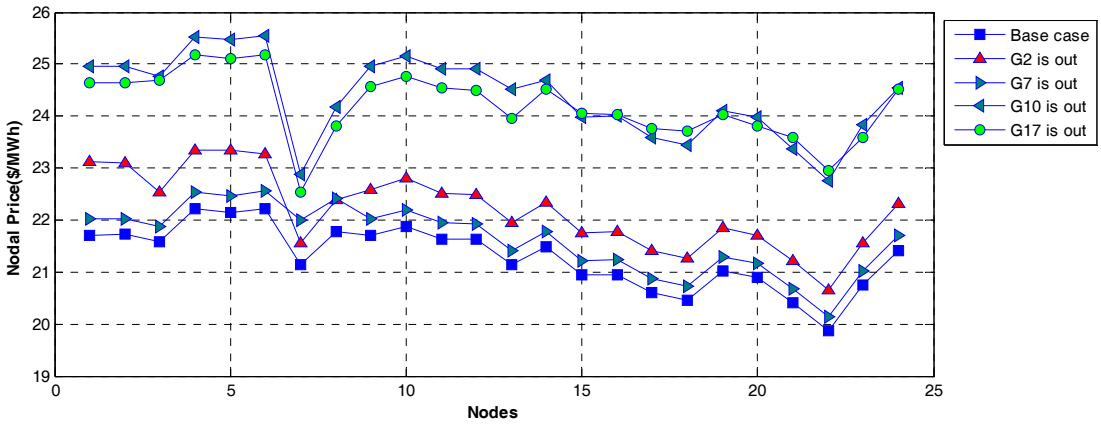


شکل۶- تاثیر خروج ژنراتورها بر تلفات راکتیو

قیمت حاشیه‌ای یکی از مهمترین سیگنالهای بازار است و اطلاعات بسیاری را در مورد وضعیت بازار و شبکهٔ انتقال می‌دهد. در حالت پایه قیمت باسها بین ۱۹/۸۷ و ۲۲/۲۳ دلار است که تفاوت اندکی بین قیمت باسها وجود دارد. میزان تاثیر خروج خط بر قیمت باسها بستگی به موقیت خط در شبکه و همچنین میزان توان عبوری از خط دارد. در شکل۷ تاثیر خروج خطوط۷ و۲۳ بر روی قیمت باسها مشاهده می‌شود. بعنوان مثال با خروج خط ۷ که بین باسهای ۳و۲۴ است موجب شده قیمت در باسهای۱تا۱۲ افزایش یابد بطوریکه در باس۳ قیمت به ۲۳/۸۷ دلار نیز می‌رسد و از طرفی قیمت در باسهای ۱۳ تا۲۴ نسبت به حالت پایه کاهش می‌یابد. ولی در مورد ژنراتورها خروج واحدها همیشه سبب افزایش قیمت در باسها نسبت به حالت پایه می‌شود که بیشترین تاثیر مربوط به واحد۱۰ است که قیمت به ۲۵/۵۳ دلار می‌رسد. با خروج یک واحد تولیدی از شبکه قیمت در باسها همیشه افزایش می‌یابد چراکه با خروج ژنراتور شبکهٔ انتقال تغییری نکرده و تغییر آرایش تولید حتما با افزایش هزینه همراه خواهد بود. ولی خروج خط انتقال با تغییر در توپولوژی شبکه ممکن است سبب کاهش قیمت در تعدادی باسها و افزایش قیمت در باسهای دیگر شود.

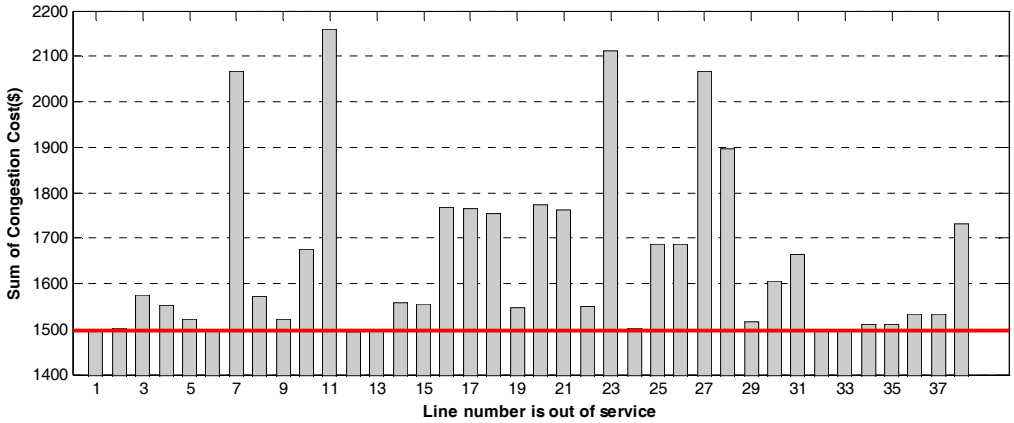


شکل۷- تاثیر خروج چند خط بر قیمت حاشیه‌ای باس‌ها

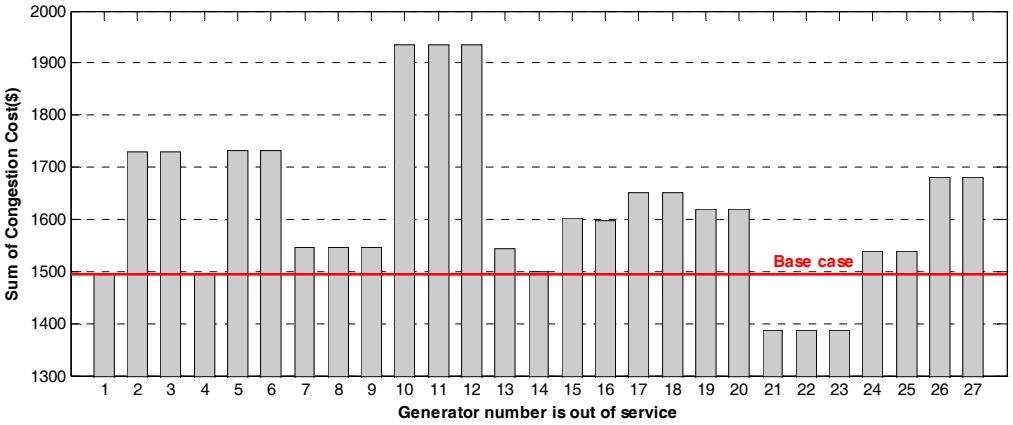


شکل۸- تاثیر خروج ژنراتورها بر قیمت حاشیه‌ای باس‌ها

همانطور که در بخش۴-۳ گفته شد به کمک قیمت حاشیه‌ای می‌توان قیمت متغیر هزینهٔ انتقال و در نتیجه تغییر در میزان هزینهٔ انتقال در صورت خروج خطوط و ژنراتورها را بدست آورد که بترتیب در شکلهای۹و۱۰ رسم شده است. خروج خط۱۱ بیشترین افزایش را در هزینهٔ پرشدگی ایجاد می‌کند بطوریکه جمع هزینهٔ پرشدگی شبکه به ۲۱۵۸ دلار می‌رسد.



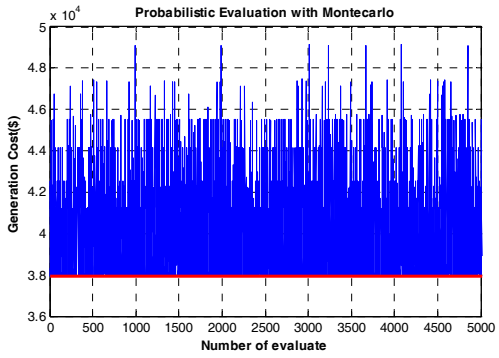
شکل۹- تاثیر خروج خطوط بر هزینهٔ پرشدگی



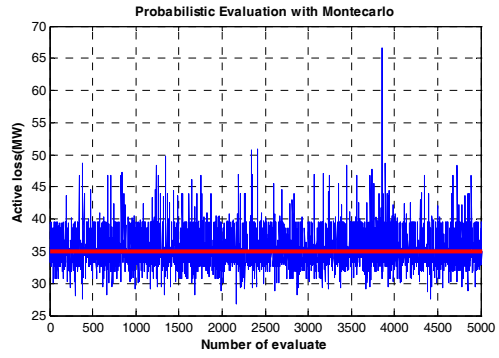
شکل۱۰- تاثیر خروج ژنراتورها بر هزینهٔ پرشدگی

۶-۲- دیدگاه احتمالی:

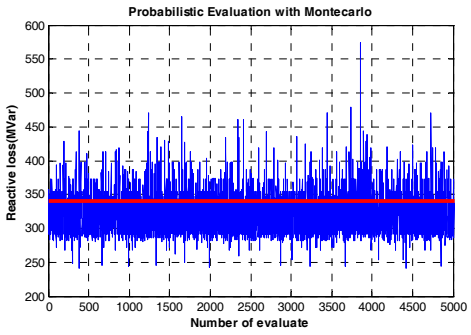
در این حالت برای خطوط و ژنراتورها نرخ خروج اجباری در نظر گرفته می‌شود که مقادیر آن از مرجع [۱۳] استخراج شده است. با استفاده از تولید عدد رندم و تکنیک شبیه سازی مونت کارلو نتایج با پنج‌هزار بار تکرار بدست آمده است. در شکلهای۱۱، ۱۲ و۱۳ به ترتیب هزینهٔ تولید توان اکتیو، تلفات اکتیو و تلفات راکتیو در پنج هزار بار اجرای OPF رسم شده است.



شکل۱۱- ارزیابی احتمالی هزینهٔ تولید

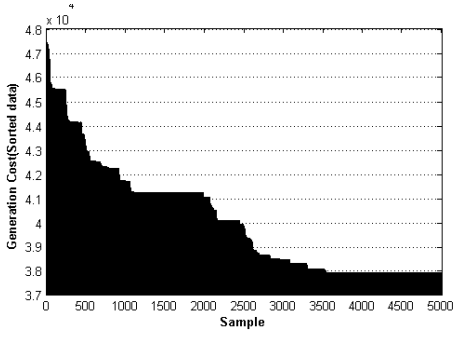


شکل۱۲- ارزیابی احتمالی تلفات اکتیو

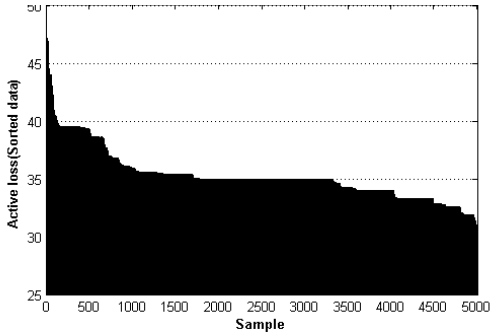


شکل۱۳- ارزیابی احتمالی تلفات راکتیو

مشاهده می‌شود که هرچه از حالت اصلی دور می‌شویم تراکم کمتر می‌شود و حالاتی که کمتر اتفاق افتاده است و تاثیر بیشتری نیز در افزایش پارامترها داشته است مربوط به خروج همزمان دو یا چند عنصر است. خروج بیش از پنج عنصر در برنامه اجازه داده نشده است. برای درک بهتر پارامترها بهتر است نمودارهای تداومی رسم شود تا به کمک آن بهتر بتوان احتمال وقوع مقادیر مختلف را بدست آورد. در این نمودارها که در شکلهای۱۴ و۱۵ برای هزینهٔ تولید و توان اکتیو رسم شده است ابتدا مقادیر را از بزرگ به کوچک مرتب کرده و سپس رسم می‌کنیم.

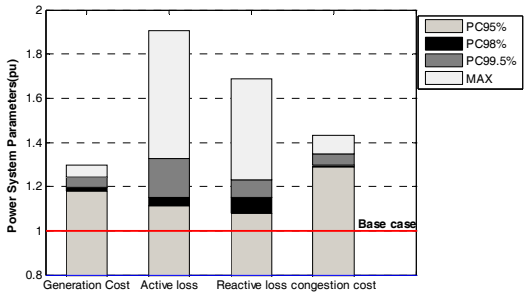


شکل۱۴- نمودار تداومی هزینهٔ تولید



شکل۱۵- نمودار تداومی تلفات اکتیو

نتایج نشان می‌دهد که در ۷۰ درصد حالات خروج صورت می‌گیرد و همچنین با مقایسه با حالت قطعی که در شکل۱و۲ رسم شده است مشخص می‌شود که در ۱۰ درصد حالات خروجی بیش از یک خروج اتفاق می‌افتد. بعبارت دیگر احتمال خروج همزمان دو عنصر حدود ۱۰ درصد است. برای بهتر نشان دادن مقادیر ماکزیمم و احتمالی می‌توان شکل۱۶ را ترسیم نمود. در این شکل مقادیر با مقادیر حالت پایهٔ خود پریونیت شده‌اند. بکمک این شکل می‌توان مشخص نمود که مقادیر احتمالی در هر پارامتر چقدر است. بعنوان مثال برای تلفات اکتیو احتمال تجمعی۹۵ درصد حدود ۱/۱۱۴ پریونیت، احتمال تجمعی ۹۹,۵ درصد حدود ۱/۳۲۸ پریونیت است درحالیکه ماکزیمم آن ۱/۹۰۶ پریونیت است.



شکل۱۶- شاخصهای آماری پارامترها

۶-۳- رتبه‌بندی ژنراتورها و خطوط

با خروج تک‌تک ژنراتورها و خطوط تغییرات هزینهٔ کل سیستم(ΔC) که شامل هزینهٔ تولید توان اکتیو، هزینهٔ تولید توان راکتیو، تلفات اکتیو و راکتیو و هزینهٔ انتقال است، بدست آورده می‌شود و با توجه به مقادیر بدست آمده ژنراتورها و خطوط رتبه‌بندی می‌شوند که نتایج به ترتیب در جداول۱ و۲ آورده شده است.

جدول۱- تغییرات هزینه در اثر خروج ژنراتورها

No. .Gen	Bus. No.	ΔC($)	Ranking
۱	۱	۰	۲۶
۲	۱	۹۴۰	۱۲
۳	۱	۹۴۰	۱۳
۴	۲	۰	۲۷
۵	۲	۹۴۱/۷	۱۰
۶	۲	۹۴۱/۷	۱۱
۷	۷	۱۹۷/۸	۲۱
۸	۷	۱۹۷/۸	۲۲
۹	۷	۱۹۷/۸	۲۳
۱۰	۱۳	۸۰۹	۱۴
۱۱	۱۳	۸۰۹	۱۵
۱۲	۱۳	۸۰۹	۱۶
۱۳	۱۴	۶۲/۴	۲۴
۱۴	۱۵	۶/۸	۲۵
۱۵	۱۵	۶۶۱/۷	۱۷
۱۶	۱۶	۶۵۷/۷	۱۸
۱۷	۱۸	۳۴۴۸/۴	۱
۱۸	۱۸	۳۴۴۸/۴	۲
۱۹	۲۱	۳۴۰۰/۸	۳
۲۰	۲۱	۳۴۰۰/۸	۴
۲۱	۲۲	۱۸۸۵/۴	۷
۲۲	۲۲	۱۸۸۵/۴	۸
۲۳	۲۲	۱۸۸۵/۴	۹
۲۴	۲۳	۵۷۲/۱	۱۹
۲۵	۲۳	۵۷۲/۱	۲۰
۲۶	۲۳	۲۳۲۷/۴	۵
۲۷	۲۳	۲۳۲۷/۴	۶

با توجه به نتایج فوق ژنراتورهای باس۱۸ که از نوع هسته‌ای هستند دارای رتبهٔ نخست است و خروج آنها بیشترین افزایش هزینه را خواهد داشت.

جدول۲- تغییرات هزینه در اثر خروج خطوط

Line.No. is out	From bus	To bus	ΔC($)	Ranking
۱	۱	۲	۰/۲	۳۷
۲	۱	۳	۹/۴	۳۱
۳	۱	۵	۱۱۷/۳	۱۷
۴	۲	۴	۸۴/۳	۲۲
۵	۲	۶	۳۷/۴	۲۷
۶	۳	۹	۴/۳	۳۵
۷	۳	۲۴	۸۲۸/۴	۳
۸	۴	۸	۱۰۸/۶	۱۸
۹	۵	۱۰	۳۷/۵	۲۶
۱۰	۶	۱۰	۲۶۱/۷	۱۴
۱۱	۷	۸	۱۴۱۹/۲	۱
۱۲	۸	۹	-۲/۷	۳۸
۱۳	۸	۱۰	۰/۴	۳۶
۱۴	۹	۱۱	۸۷/۷	۱۹
۱۵	۹	۱۲	۸۵/۷	۲۱
۱۶	۱۰	۱۱	۳۶۹/۹	۹
۱۷	۱۰	۱۲	۳۷۲	۸
۱۸	۱۱	۱۳	۳۶۳/۱	۱۰
۱۹	۱۱	۱۴	۷۵/۴	۲۳
۲۰	۱۲	۱۳	۳۹۰/۴	۷
۲۱	۱۲	۲۳	۴۰۰/۸	۶
۲۲	۱۳	۲۳	۸۷/۴	۲۰
۲۳	۱۴	۱۶	۹۱۸/۲	۲
۲۴	۱۵	۱۶	۷/۸	۳۴
۲۵	۱۵	۲۱	۲۸۶/۴	۱۲
۲۶	۱۵	۲۱	۲۸۶/۴	۱۳
۲۷	۱۵	۲۴	۸۲۸/۲	۴
۲۸	۱۶	۱۷	۶۰۱/۶	۵
۲۹	۱۶	۱۹	۳۳/۵	۲۸
۳۰	۱۷	۱۸	۱۶۵/۴	۱۶
۳۱	۱۷	۲۲	۲۶۰/۵	۱۵
۳۲	۱۸	۲۱	۸	۳۲
۳۳	۱۸	۲۱	۸	۳۳
۳۴	۱۹	۲۰	۲۳/۶	۲۹
۳۵	۱۹	۲۰	۲۳/۶	۳۰
۳۶	۲۰	۲۳	۵۵/۶	۲۴
۳۷	۲۰	۲۳	۵۵/۶	۲۵
۳۸	۲۱	۲۲	۳۵۹	۱۱

نتایج جدول۲ نشان می‌دهد که خطوطی که دارای بار بیشتری هستند در رتبه‌های نخست قرار می‌گیرند و خط۱۱ در رتبهٔ نخست قرار گرفته است. بنابراین این رتبه‌بندی می‌تواند سیگنال خوبی جهت توسعهٔ شبکه باشد.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله ارزیابی اقتصادی از خروج ژنراتورها و خطوط از دو دیدگاه قطعی و احتمالی صورت گرفته است که به کمک آن می‌توان ژنراتورها و خطوط را با حفظ امنیت شبکه و با توجه به ایجاد کمترین هزینه رتبه‌بندی نمود. از این رتبه‌بندی می‌توان بمنظور برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه و یا ارائهٔ سیگنالهای اقتصادی به بازیگران، جهت سرمایه‌گذاری در توسعهٔ شبکهٔ انتقال استفاده نمود. مطابق نتایج بدست آمده خطوطی که دارای رتبهٔ بالاتری هستند نیاز به توسعه در آنها بیشتر است و همچنین نیاز به اهمیت بیشتری جهت تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه هستند.

۸- مراجع

[1] O. Gjerde and et all, “Congestion management: The system operators challenge to balance transmission transfer capacity with an acceptable security level”, CIGRE/IEEE International Symposium, Page(s):120 – 127, December 2005.

[2] D. Sun, “The Roles of State Estimator and Security Analysis in Electricity Markets”, IEEE Power Engineering Society General Meeting, Page(s):1981– 1982, June 2005.

[3] E. L. Miguélez, "A practical approach to solve power system constraints with application to the Spanish electricity market", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.19, No.4, November 2004.

[4] F.M. Echavarren, E. Lobato, L. Rouco, “Contingency analysis: feasibility identification and calculation algorithm”, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol.152, No.5, September 2005.

[5] A. Ozdemir, J.Y. Lim and C. Singh," Branch outage simulation for MVar flows: bounded network solution", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.18, No.4, November2003.

[6] D. Hur, J. K. Park, B. H. Kim, K. M. Son, “Security constrained optimal power flow for the evaluation of transmission capability on Korea electric power system”, IEEE Power Engineering Summer Meeting, Vol.2, Page(s):1133 – 1138, July 2001.

[7] A. T. Saric, A. M. Stankovic, "Model Uncertainty in Security Assessment of Power Systems", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.20, No.3, August 2005.

[8] A. Ozdemir, J. Y. Lim, C. Singh, "Post-Outage Reactive Power Flow Calculations by Genetic Algorithms: Constraint Optimization Approach", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.20, No.3, August 2005.

[9] E. G. Preston, M. L. Baughman, W. M. Grady, "A new model for outaging transmission lines in large electric networks", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, NO 2, May 1999.

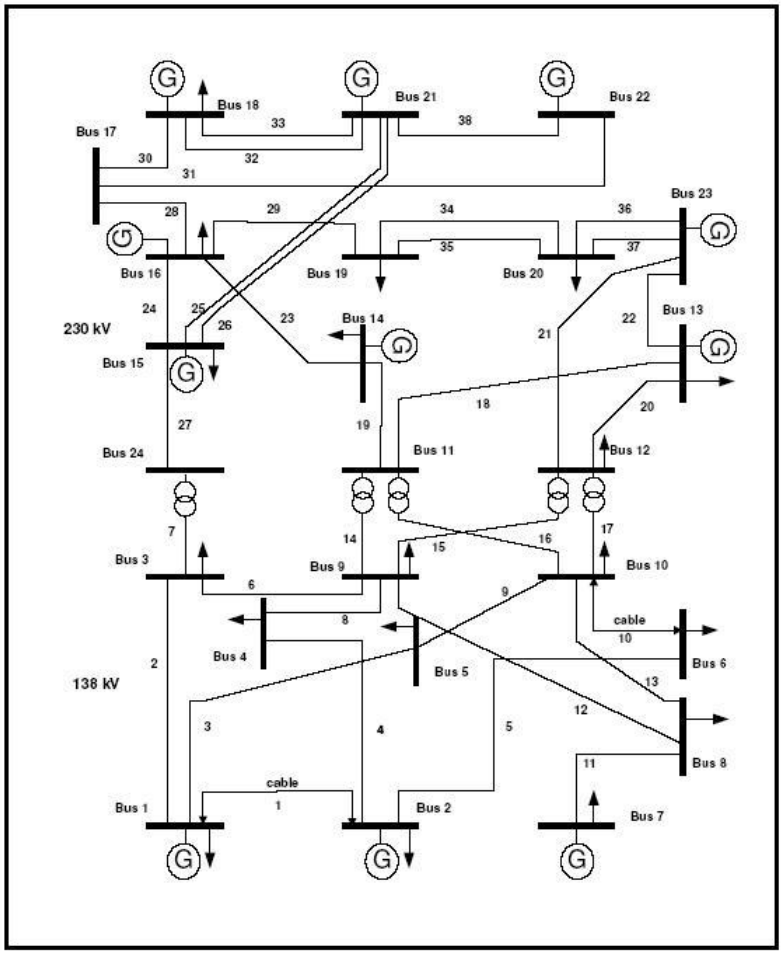
[10] حسن سیاهکلی، " هزینهٔ انتقال در شبکهٔ سیستمهای تجدید ساختار شده"، نشریهٔ علمی پژوهشی برق، سال شانزدهم، شمارهٔ۳۷ ، ۱۳۸۲.

[11] G. Hamound, I. Bradly, "Assessment of Transmission Congestion Cost and Locational Marginal Pricing in a Competitive Electricity Market", IEEE Transaction on Power System, Vol.19, No.2, pp.769-775, May2004.

[12] Y. Z. Malcolm, R. Irving, Y. Song, "A Cost Allocation pricing Method for Reactive Power Serviced in the New Deregulated Electrical Market Environment", IEEE Conf.

[13] IEEE PES Task force, “The IEEE Reliability Test System-1996”, IEEE
Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 3, August 1999.

[14] Rajnish Gupta, "Economic Impact of Non-Utility Generation on Electric Power Systems", PHD Thesis Submitted to the University of Saskatchewan Saskatoon, 1997



شکل۱۷- شبکهٔ ۲۴ باسهٔ IEEE