پخش بار بهینه در سیستمهای قدرت دسترسی باز با در نظر گرفتن قراردادهای اختلاف مصرف مقید به قیود فازی

محسن پارسا مقدم
دانشیار
بخش مهندسی برق، دانشگاه تربیت مدرس

مهدی رئوفت
دانشیار
بخش مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه شیراز

محمود رضا حقی فام
دانشیار
بخش مهندسی برق، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

در این مقاله مسأله بهره برداری بهینه از سیستمهای قدرت دسترسی باز مورد مطالعه قرار گرفته و با استفاده از مطالعات پخش بار، سعی شده است بهترین نقطه کار ممکن برای سیستم تعیین شود. همچنین استفاده از قیود فازی که در این مقاله برای قراردادهای اختلاف مصرف پیشنهاد شده است همواره نقطه کاری مناسبتر را قابل حصول و شبکه را در شرایط وقوع حالات پیش‌بینی نشده انعطاف‌پذیرتر می‌نماید.

موارد فوق بر روی سیستمی که بر اساس شبکه ۲٤ شینه IEEE طراحی شده است بررسی شده و نتایج قابل قبولی به دست آمده است.

کلمات کلیدی

سیستمهای قدرت دسترسی باز، پخش بار بهینه، ماتریس تبادلات توان، قیود فازی.

Optimal Power Flow in Open Access Power Systems

M. Parsa Moghadam
Associate Professor
Tarbiat Modarress University

M. Raofat
Assocciate Professor
Shiraz University

M.R. Haghifam
Assocciate Professor
Tarbiat Modarress University

Abstract

This paper addresses a new concept for optimizing the power flow in a multilateral open access power system. Using a full AC power flow in this optimization permits the system operator to determine the optimum feasible system operating point based on predefined transactions and contracts. Introduction of fuzzy constraints to contracts for difference will increase the system flexibility to face with changes in operating conditions.

The proposed approach is tested on IEEE RTS 24-bus network with satisfactory results.

Keywords

Open Access Power System, Optimal Power Flow, Power Transaction Matrix, Fuzzy Constraints

مقدمه

با توجه به توسعه سریع خصوصی‌سازی صنعت برق در سراسر دنیا، مطالعات فراوانی بر روی این سیستمها در حال انجام است و بسیاری از مطالعاتی که قبلاً بر روی سیستمهای سنتی انجام شده است مجدداً بر روی این سیستمها باید انجام شود. بهره‌برداری، از مهمترین مسائل اینگونه شبکه است که در سالهای اخیر موضوع تحقیقات فراوانی در این سیستمها بوده است. قیمت‌گذاری توان حقیقی و غیرحقیقی [۱ و ۲ و ۳] امنیت شبکه در حالت ماندگار سیستم [۴] و تخصیص تلفات به نهادهای مختلف فعال در سیستم [۶ و ۱۱ و ۱۲] نمونه‌هایی از موضوعات تحقیق شده در این زمینه‌اند.

کارکرد سیستم در نقطه کار بهینه که در سیستمهای موجود از مهمترین مسائل بهره‌برداری میباشد در سیستمهای تجدید ساختار یافته نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تاکنون موضوع مقالات مختلفی بوده است. مرجع [۶] مسأله تحویل بهینه توان با هدف کاهش تلفات سیستم را مطرح و حل نموده است. مراجع [۷ و ۸] نیز به ترتیب حداقل هزینه تولید کل انرژی مورد نیاز سیستم و مدیریت تمرکز بار را مورد مطالعه و بررسی قرار داده‌اند. در این مقاله، تعیین نقطه کار بهینه سیستم از نقطه نظر بهره‌بردار شبکه و با در نظر گرفتن قیود امنیت ماندگار شبکه مورد مطالعه قرار گرفته است.

هدف این بهینه‌سازی تعیین نقطه کار بهینه سیستم با در نظر گرفتن قراردادهای مبادله توان، تأثیر قوانین اقتصادی حاکم بر سیستم، قیود امنیت شبکه و حداقل‌سازی تلفات شبکه می‌باشد که برای این منظور پخش بار بهینه پیشنهاد شده است.

این بهینه‌سازی علاوه بر تعیین نقطه کار بهینه در شرایط کارکرد عادی، در شرایطی که بنا به دلایلی نقطه کار اولیه قابل قبول نیست نیز کاربرد خواهد داشت. این شرایط می‌تواند ناشی از خروج برنامه‌ریزی نشده نیروگاه یا خطوط انتقال نیرو و یا تغییر شدید بار در هنگام مصرف باشد.

قراردادهای اختلاف مصرف[1] که ممکن است مابین نهادهای فعال در سیستم منعقد شود تعیین کننده نحوه تأمین توان در صورت تغییر شرایط سیستم می‌باشد. در این مقاله برای قراردادهای اختلاف مصرف که عملا حد بالای تبادلات بین نهادها را تعیین میکنند، قیود فازی پیشنهاد شده است که انعطاف پذیری سیستم در برابر تغییرات پیش بینی نشده و حوادث شبکه را افزایش می‌دهد و امکان جابجایی تولید یا انتقال توان را در صورت بروز حادثه و افزایش یا کاهش میزان تولید را در صورت تغییر بار به شکل مناسبی فراهم می‌کند. این انعطاف پذیری در حالی به سیستم و نهادها داده میشود که میزان بار ثابتی به تعهدات فروشندگان افزوده نشده است.

مدلسازی سیستم گام مهمی در مطالعه هر سیستم است. یکی از مدلهای مناسب که در مطالعات سیستمهای قدرت دسترسی باز استفاده می‌شود، شبکه مجازی تبادلات قدرت[2] است. در این مدل، ماتریس T که بر اساس شبکه مجازی ذکر شده ساخته می‌شود کلیه تبادلات توان بین نهادها را بیان میکند [۴و۵]. با توجه به اینکه در این تحقیق با استفاده از مدل کامل شبکه، تلفات شبکه به صورت کامل مدل شده است، بخشی از ماتریس T که برای بیان تلفات شبکه است حذف شده و ماتریس کاهش یافته‌ای تعریف شده است.

مثالهای انجام شده روی شبکه IEEE RTS با نتایج قابل قبولی همراه بوده است.

۱ـ بیان ریاضی مسأله

۱-۱ـ محیط دسترسی باز

در سیستمهای قدرت دسترسی باز، همچون هر بازار تجاری دیگری فروشندگان و خریداران مستقیماً به یکدیگر دسترسی دارند و از اینرو این سیستمها، سیستمهای قدرت دسترسی باز نامیده شده‌اند. همچنین به دلیل وجود زیر سیستم اقتصادی با قواعد و قیود خاص خود که با زیر سیستم الکتریکی موجود تعاملات خاصی پیدا کرده است، به مجموعه حاصل محیط دسترسی باز نیز گفته می‌شود. با توجه به اثر فراوانی که قواعد و قیود اقتصادی تعریف شده بر عملکرد شبکه می‌گذارد [۹] در این بخش به تعریف محیط و قواعد مهم فرض شده در این تحقیق اشاره می‌شود.

در اینجا محیط فرض شده، محیط دسترسی باز چند جانبه است که در آن سه نوع نهاد فعالیت دارند. نهادهای تولیدکننده، نهادهای مصرف کننده و دلالان. نهادهای دلال، واسطه فروش توان به خریدارانی هستند که علاقه‌ای به خرید مستقیم از تولید کنندگان ندارند که عمدتا خریداران جزء از این دسته‌اند. ISO که مستقل از نهادهای فوق الذکر است ضمن هماهنگی نهادهای فوق مسئول بهره‌برداری از سیستم است.

علاوه بر قراردادهای مبادله توان که بین نهادهای مختلف منعقد می‌شود ممکن است قراردادهای اختلاف مصرف (CFD) نیز مبادله شود که در زمان مصرف در صورت بروز هر گونه تغییر در میزان تقاضا یا در شرایط سیستم، نحوه تأمین توان را تعیین می‌کند. در این مقاله برای قراردادهای اختلاف مصرف توابع عضویت فازی پیشنهاد شده است که باید توسط طرفین قرارداد تعریف و تنظیم شود.

بازه زمانی مطالعه همانند پخش بار بهینه در شبکه‌های فعلی است در نتیجه مطالعاتی همچون مشارکت واحدها در تولید از قبل انجام شده فرض می‌شود.

۱-۲ـ پخش بار بهینه پیشنهادی

در سیستمهای قدرت موجود، پخش بار بهنیه با هدف تعیین نقطه کار مناسب سیستم با حداقل هزینه تولید نیروگاههای شبکه اجرا می‌شود. با توجه به اینکه در سیستمهای دسترسی باز با وجود نهادهای خصوصی، کاهش هزینه‌های تولید در کل شبکه از اولویت والایی برخوردار نیست، در این مقاله هدف بهینه‌سازی پیشنهادی، تعیین نقطه کار بهینه سیستم با در نظر گرفتن قواعد اقتصادی حاکم بر سیستم، تبادلات اولیه توان و همچنین با رعایت قیود امنیت ماندگار شبکه می‌باشد. این بهینه‌سازی که از دیدگاه ISO طرح شده است، نه تنها در شرایط کارکرد عادی سیستم بلکه در شرایط بروز تغییرات ناگهانی در سیستم نیز کاربرد دارد.

۱-۳ـ ماتریس تبادلات توان کاهش یافته

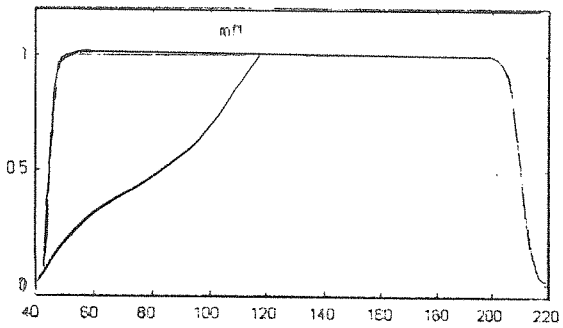
ماتریس تبادلات توان، T، به منظور مدل نمودن تبادلات توان بین نهادهای اقتصادی فعال در سیستم تعریف شده است و ماتریس T_0، مقادیر پیش فرض تبادل توان را در بر می‌گیرد. در ماتریس T پیشنهادی مراجع [۴و۵] که در پیوست یک تشریح شده است، عناصر ماتریس به نحوی در برگیرنده و بیان کننده تلفات سیستم نیز می‌باشند. در این مقاله با توجه به استفاده از مدل الکتریکی کامل شبکه و حل مسأله پخش بار، تلفات شبکه کاملاً لحاظ می‌شود، لذا می‌توان با استفاده از تعاریف ویژه‌ای ابعاد ماتریس T را کوچکتر و محاسبات را بهبود بخشید. مبادلات مجاز در این مدل شامل G_iE_j، G_iD_j، E_iE_j و E_iD_j است که G_i، i امین ژنراتور، E_i i امین دلال و D_i i امین مصرف کننده توان می‌باشد. در صورتی که در یک گره از شبکه، ژنراتور و مصرف کننده به صورت توأم وجود داشته باشند، به ازای آن گره، یک نهاد تولید کننده و یک نهاد مصرف کننده در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس ماتریس T یک ماتریس $(N_G+N_E)\times(N_{E+}N_D)$ به فرمت زیر خواهد بود.

$$T=\begin{bmatrix} GE & GD \\ EE & ED \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

۱-٤ـ قراردادهای اختلاف مصرف فازی

همانگونه که ذکر شد، قراردادهای اختلاف مصرف در این مقاله با قیود فازی درنظر گرفته شده‌اند. به این ترتیب در زمان مصرف یا بروز هرگونه تغییر عمده در سیستم مقادیر تبادل توان می‌تواند بر اساس تابع عضویت از پیش تعریف شده‌ای تغییر کند، این ویژگی ضمن اینکه انعطاف پذیری قابل انتظار از قراردادهای اختلاف مصرف را ایجاد می‌کند، به دلیل فازی بودن قدرت مانور بیشتری به فروشندگان و خریداران و از جمله دلالان توان می‌دهد تا نسبت به خرید و فروش موثرتر توان اقدام نمایند و در موارد بروز موقعیتهای خاص در تغییرات بازار نقش موثرتری داشته باشند.

در اینجا برای ساده‌تر شدن محاسبات، تابع عضویت قیود، به صورت یک تابع پیوسته مثلا تفاضل دو تابع سیگموئید پیشنهاد شده است که در شکل (۱) نمودار آن رسم شده است این تابع بر اساس نیازهای طرفین می‌تواند متفاوت از فرم پیشنهادی بوده توسط طرفین قرارداد تعیین شود.



شکل (۱) نمودار نمونه تابع عضویت پیشنهادی.

رابطه ۲ تابع عضویت مورد نظر را به صورت ریاضی بیان می‌کند. در این رابطه α و β ضرایب دلخواه و d و D انحرافات نشان داده شده در شکل ۱ است.

$$\mu f = \frac{1}{1+e^{\alpha(T-b_1)}} - \frac{1}{1+e^{\beta(T-b_2)}} \qquad (۲)$$

$$b_1 = T_{min} - d/2 \qquad (۳)$$

$$b_2 = T_{max} + D/2 \qquad (۴)$$

۱-۵ـ تابع هدف و قیود بهینه سازی

تابع هدف پیشنهادی در این بهینه‌سازی مطابق رابطه ۵ بیان می‌شود. این تابع شامل ضرایب متعددی است که با تعیین آنها تابع هدف مناسب و موردنظر ساخته می‌شود.

(۵)

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad J = {} & W_1\Big(\sum_{i\in G}\sum_{j\in E,D} T_{ij} - \sum_{i\in D} P_{di}\Big)^2 \\ & + \sum_{i\in G,E}\sum_{j\in E,D} W_{2ij}(T_{ij} - T_{0ij})^2 \\ & + \sum_{i\in F} W_{3i}(1-\alpha_i)^2 \end{aligned} \qquad (5)$$

S.T.

$$\sum_{j\in E,D} T_{ij} - P_{di} - P_i(v,\delta) = 0 \qquad i \in N \qquad (6)$$

$$Q_{di} + Q_i(v,\delta) = 0 \qquad i \in B \qquad (7)$$

$$\sum_{j\in G} T_{ij} = \sum_{j\in E,d} T_{ji} \qquad i \in E \qquad (8)$$

$$EE_{ij} = -EE_{ji} \qquad i,j \in E \qquad (9)$$

$$i,j \in E,G,D \qquad \alpha_{ij} = \mu f_{ij} \qquad (۱۰)$$

$$P_{gi}^{m} \le \sum_{j \in E,D} T_{ij} \le P_{gi}^{M} \qquad i \in G \qquad (11)$$

$$Q_{gi}^{m} \le Q_{gi} \le Q_{gi}^{M} \qquad i \in G \qquad (12)$$

$$v_i^{m} \le v_i \le v_i^{M} \qquad i \in N \qquad (13)$$

$$\delta_i \le \delta_i^{M} \qquad i \in N - Slack \qquad (14)$$

$$T_{ij}^{m} \underset{d}{\le} T_{ij} \underset{D}{\le} T_{ij}^{M} \qquad \begin{matrix} if\ i \in G\ \ j \in E,D \\ if\ i \in E\ \ \ j \in D \end{matrix} \qquad (15)$$

در روابط فوق:

P_{gi}: توان تولیدی شین iام یا نهاد تولید کننده‌iام،

P_{ei}: توان تجارت شده توسط دلال iام،

P_{di}: توان مصرفی شین iام یا نهاد مصرف کننده‌iام،

T_{ij}: عناصر ماتریس تبادلات توان،

EE_{ij}: عناصر زیر ماتریس EE از ماتریس T،

α_i: مقدار تابع عضویت،

X_0: مقدار اولیه متغیر X،

X^M: حد بالای متغیر X،

X^m: حد پایین متغیر X،

W: ضریب وزنی،

G: مجموعه شینها یا نهادهای مولد،

E: مجموعه نهادهای دلال توان،

D: مجموعه نهادهای مصرف کننده،

N: مجموعه گرههای الکتریکی شبکه،

F: مجموعه قراردادهای اختلاف مصرف که انحراف فازی دارند،

V_i: اندازه ولتاژ شین iام،

δ_i: زاویه ولتاژ شین iام.

جمله اول رابطه ۵ مجذور تلفات شبکه و جمله دوم جمع مجذور میزان اختلاف تبادل نهایی و تبادل پیش فروش شده توان برای کلیه تبادلات است. کاهش تلفات که از دید منافع ملی یک هدف قابل قبول است در مرجع [۶] به عنوان تابع هدف در بهینه‌سازی تحویل توان در نظر گرفته شده است، اما در یک سیستم دسترسی باز کاهش تلفات سیستم نمی‌تواند هدف مستقیم نهادهای خصوصی باشد و اهداف مهمتری از جمله تحقق فروش و سود پیش بینی شده مطرح است که جمله دوم رابطه (۵) آنرا مدل می‌کند. در مراجع [۴ و۵ و۱۰] بر علاقه نهادهای فروشنده به تحقق مقادیر پیش فروش شده، T_0، تأکید شده است. استفاده از ضرایب مختلف برای تبادلهای مختلف نیز می‌تواند اهمیت نسبی تبادلات مختلف را مدل نماید.

معادلات (۶) و (۷) معادلات پخش بار شبکه است که امکان بررسی و کنترل کلیه کمیات شبکه و همچنین محاسبه دقیق تلفات را میسر می‌سازد. استفاده از این معادلات مسأله را به مسأله پخش بار بهینه تبدیل مینماید. معادلات (۸) و(۹) تعیین‌کننده تعادل توان در شبکه مجازی تبادلات توان است. نامساویهای (۱۰) تا (۱۵) نیز قیود شبکه و قیود اقتصادی تعریف شده و حاکم بر سیستم‌اندکه قیود نامساوی آخر از نوع فازی با تابع عضویت مشابه آنچه اشاره شد، می‌باشد و مجموع قراردادهای فروش و اختلاف مصرف را مدل می‌کند.

در این تحقیق برای حل مسألهٔ بهینه سازی پیشنهاد شده، روش تداومی[۳] استفاده شده است. روش تداومی تاکنون برای انواع مسائل پخش بار و پخش بار بهینه استفاده شده و قابلیتهای فراوانی در برخورد با مسائل بهینه‌سازی پیچیده برای آن اثبات شده است. در سیستمهای قدرت دسترسی باز، حضور متغیرهای غیر الکتریکی و روابط بین آنها در کنار روابط پیچیده و غیر خطی پخش بار شبکه، پیچیدگی خاصی به مسأله بهینه‌سازی می‌دهد که با استفاده از روش تداومی رفع شده است. روش تداومی مبتنی بر روش نیوتن و معادلات لاگرانژ است با این تفاوت که بتدریج و در طی چند گام از نقطه اولیه به پاسخ نهایی می‌رسد[۱۳].

۲ـ مطالعات عددی

با استفاده از سیستمی که بر اساس شبکه IEEE-RTS طراحی و در پیوست دوم ارائه شده است مسأله و الگوریتم پیشنهادی بررسی و مطالعه شده است که نتیجه مطالعات انجام شده در اینجا تشریح می‌شود. در مثالهای بررسی شده ضرایب وزنی تابع هدف یکسان فرض شده است.

اولین مثال، نتیجه مطالعه OPF را بر روی یک سیستم در شرایط نرمال و بدون تغییر بار نسبت به بار پیش فروش شده، بررسی می‌نماید. در جدول ۱ مقادیر بهینه برخی تبادلات همراه با مقادیر اولیه آنها و در جدول ۲ همین مقادیر برای برخی نهادهای فروشنده ارائه شده است. در این مثال، برای قراردادهای اختلاف مصرف انحراف فازی در نظر گرفته نشده است. همانگونه که مشاهده می‌شود میزان افزایش یا کاهش پیشنهادی برای تبادلات، متناسب با مقادیر اولیه نبوده به شرایط و پارامترهای سیستم و شبکه وابسته می‌باشد. به عنوان مثال به دلیل کمبود تولید نسبت به مصرف در ناحیه ۱۳۸ کیلو ولت، هرگونه افزایش تولید در این ناحیه تلفات سیستم و تابع هدف را کاهش خواهد داد؛ لذا شاهد افزایش حجم مبادلات نهاد G_2 هستیم. G1 و G3 نیز که در این ناحیه قرار دارند مایل به افزایش تولیداند اما قیود تولید و یا مبادلات آنها اجازه افزایش تولیدی مشابه G_2 را نمی‌دهد. E_1 نیز که با مولدهای ناحیه ۱۳۸ کیلوولت قرارداد دارد بیش از E_3 که تنها از ناحیه ۲۳۰ کیلوولت انرژی می‌خرد، افزایش فروش داشته است.

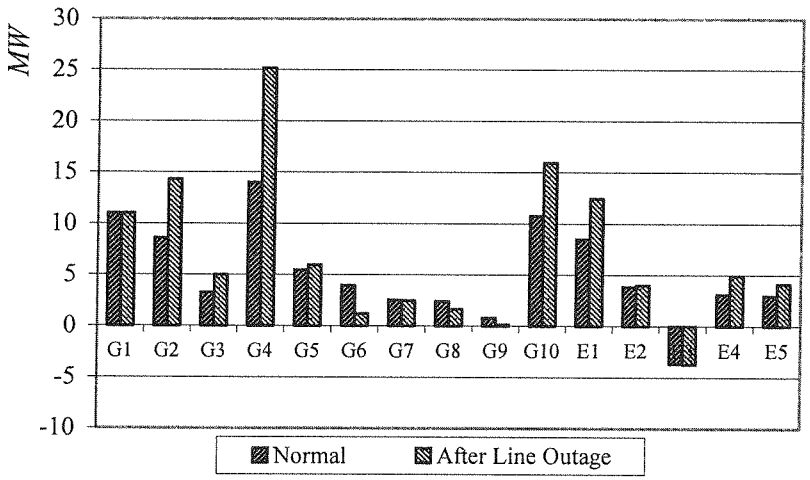
جدول (۱) مقادیر پیشنهاد شده برای برخی تبادلات.

	G_1E_1	G_4E_1	E_1D_2	E_1D_3	$G_{10}D_{14}$	E_1D_{12}
اولیه	61	350	47	100	100	86
نهایی	63.6	353.7	48.6	101.6	103.6	87.6

جدول (۲) مقادیر پیشنهاد شده برای برخی نهادها.

	G_2	G_3	G_4	G_{10}	E_1	E_3
اولیه	165	345	428	588	519	817
نهایی	173.5	348.2	441.7	598.3	527.2	814.8

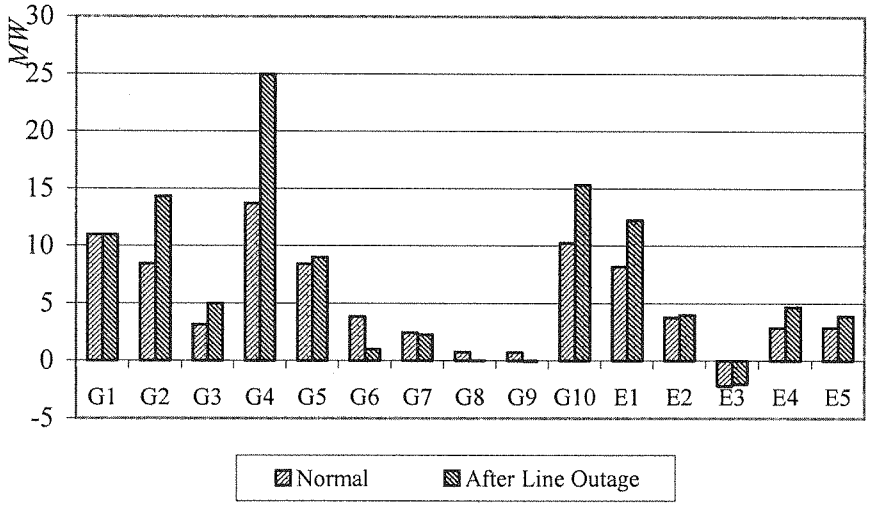
همانگونه که در بخش ۲-۱ اشاره شد، پخش بار بهینه پیشنهاد شده نه تنها در شرایط کارکرد نرمال شبکه کاربرد دارد بلکه در مواقعی که به هر دلیل تغییراتی در شبکه یا شرایط سیستم ایجاد شده باشد نیز می‌تواند مورد استفاده واقع شود. در مثال دوم، از این مطالعه در برنامه‌ریزی مجدد شبکه پس از خروج فرضی خط ۱۴-۱۶ استفاده شده است. همانگونه که در نمودار شکل ۲ نشان داده شده است میزان تغییر در تولید و فروش نسبت به مقادیر پیش فروش شده، برای نهادهای مختلف متفاوت است که بستگی به ضرایب تابع هدف و ساختار شبکه دارد.



شکل (۲) اختلاف بین مقادیر اولیه و بهینه برای دو حالت مختلف بدون قیود فازی.

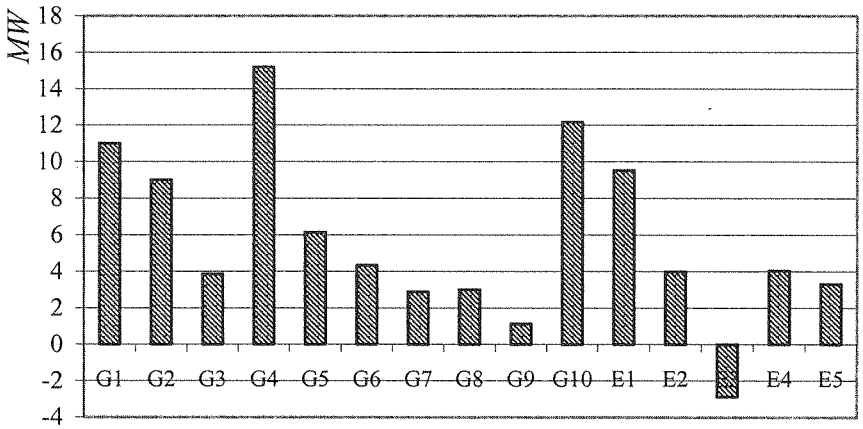
به منظور نشان دادن اثر قیود فازی بر پاسخ نهایی، در مثال بعد برای برخی قراردادهای اختلاف مصرف تابع عضویت ارائه

به منظور نشان دادن اثر قیود فازی بر پاسخ نهایی، در مثال بعد برای برخی قراردادهای اختلاف مصرف تابع عضویت ارائه شده در بخش ۲-۴ در نظر گرفته شده و دو مثال قبل مجددا مطالعه شده که نتایج حاصله در شکل ۳ ارائه شده است. قراردادهایی که قید فازی دارند در پیوست دوم مقاله مشخص شده‌اند



شکل (۳) اختلاف بین مقادیر اولیه و بهینه برای دو حالت مختلف با قیود فازی.

اگر چه در مثالهای قبل حتی بدون قراردادهای فازی اختلاف مصرف هم امکان تأمین توان مورد نیاز وجود داشت اما موارد بسیاری از جمله مثال زیر وجود دارد که بدون در نظر گرفتن بخش فازی قراردادها، سیستم قادر به تأمین بار نیست. اگر چه افزودن سطح قراردادهای اختلاف مصرف به صورت غیر فازی هم می‌تواند مشکل را برطرف سازد اما با توجه به کم احتمال بودن بروز چنین واقعه‌ای عقد قرارداد غیر فازی از نظر اقتصادی نمی‌تواند مطلوب باشد و فازی بودن این قراردادها بصرفه‌تر است. در این مثال بار مصرف‌کننده گره شماره ۷ به اندازه ۶ مگاوات افزایش یافته است. شکل ۴ تغییرات پیشنهادی تبادلات را پس از افزایش بار نشان می‌دهد. برنامه‌ریزی مجدد سیستم در این حالت، بدون درنظر گرفتن قراردادهای فازی نیز انجام شده که امکان تأمین بار وجود نداشته است



شکل (٤) تغییرات پیشنهادی تبادلات پس از افزایش بار.

در جدول (۳) مقادیر برخی تبادلات و کل مقدار توان تبادل شده مربوط به برخی نهادها برای سه مثال فوق ارائه و مقایسه شده است.

جدول (۳) مقایسه بین نتایج مثالهای ارائه شده.

شرایط	مقادیر اولیه	مقادیر نهایی		
		خروج خط قیود غیر فازی	خروج خط قیود فازی	افزایش بار قیود فازی
G_8E_3	280	280	281.5	282
G5E3	190	195	191.8	192
E3D7	100	100	100	106
E4D7	50	50	50	50
G8	390	390	391.7	393
G5	234	243	240	240.2
E3	817	815	813	814.1

همانگونه که مشخص است مقدار توان مبادله شده بین E_3 با ژنراتورها در حالت فازی بودن قیود بسیار هماهنگتر از حالت غیرفازی است. همچنین مشاهده می‌شود که E_3 با انعقاد قراردادهای CFD فازی توانسته است مدیریت بهتری روی خریدهای خود از ژنرانورهای مختلف اعمال نماید. در حالت سوم نیز که بار رشد کرده است E_3 بهتر از E_4 توانسته است نسبت به تأمین بار جدید اقدام کند این در حالی است که E_3 این توان را به صورت قطعی از قبل نخریده بوده است.

۳ـ نتیجه‌گیری

در این مقاله به منظور تعیین بهترین نقطه کارکرد یک سیستم قدرت با دسترسی باز، پخش بار بهینه با استفاده از مدل کامل شبکه پیشنهاد شده است. تابع هدف پیشنهادی که مغایر با توابع هدف معمول در مطالعات پخش بار بهینه در سیستمهای موجود است، به گونه‌ای انتخاب و تعریف شده است که نقطه کار حاصل در حد امکان از دیدگاه کار بر ان مختلف سیستم بهینه بوده و قیود امنیت حالت ماندگار شبکه را نیز برآورده سازد. استفاده از ضرایب وزنی مختلف امکان درنظر گرفتن اهمیتهای متفاوت برای نهادها و تبادلات مختلف را نیز فراهم نموده است که البته تعیین ضرایب مناسب، خود به مطالعات جدیتر و فراگیرتری نیاز دارد و درتحقیقات بعدی میتواند مورد نظر قرار گیرد.

همچنین در این مقاله برای قراردادهای اختلاف مصرف، قیود فازی پیشنهاد شده است که میتواند منافع نهادهای مختلف شبکه را با قیود بهره‌برداری مطمئن شبکه همراه سازد و در موارد بروز حوادث و یا تغییرات مهم در شرایط و بار شبکه، انعطاف‌پذیری بیشتری به سیستم بدهد و همچنین برای نهادهای مختلف امکان تأثیر بیشتر برتغییرات بازار را فراهم سازد. اگر چه بالا بردن میزان قیود قراردادهای اختلاف مصرف به صورت غیر فازی هم می‌تواند چنین شرایطی را فراهم سازد اما فازی بودن این قیود بصرفه‌تر است.

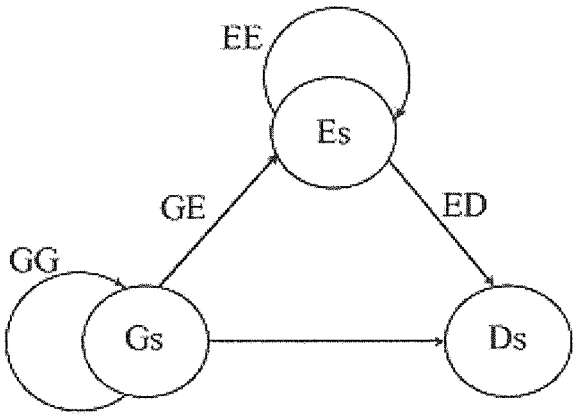
در این مقاله همچنین ماتریس کاهش یافته تبادلات توان پیشنهاد و استفاده شده است که از بار محاسباتی کمتری نسبت به ماتریس اصلی برخوردار است.

نتایج مطالعات نمونه که در بخش بررسی نتایج ارائه شده است، نشان‌دهنده مناسب بودن تابع هدف، قیود فازی و مدلسازی پیشنهاد شده، میباشد. تخصیص تلفات شبکه به نهادهای فعال نیز در همین راستا بررسی شده که طی مقالهای دیگر ارائه شده است.

پیوست یکم : شبکه مجازی و ماتریس تبادلات توان

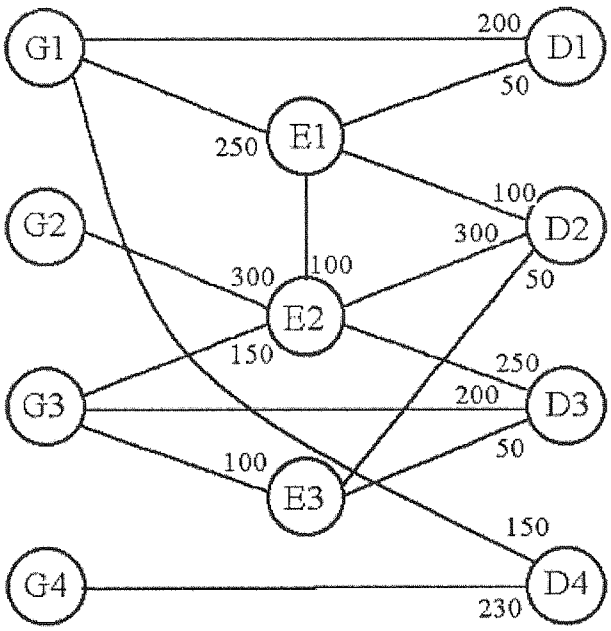
تبادلات چند جانبه در محیط دسترسی باز متغیرهای جدیدی هستند که در سیستمهای دسترسی باز و بازارهای انرژی از اهمیت ویژهای برخوردار بوده عملکرد سیستمهای قدرت را تحت تأثیر قرار دادهاند. بنابراین مدلسازی این تبادلات از اهمیت ویژهای برخوردار است.

در سیستمهای قدرت با دسترسی باز چند جانبه سه نوع نهاد اقتصادی در تبادل انرژی و توان نقش دارند نهادهای تولیدکننده (G) نهادهای مصرفکننده (D) و نهادهای دلال (E). شکل ۱-۱ انواع مختلف قراردادهای تبادل توان بین نهادهای ذکر شده را نشان میدهد.



شکل (۱-۱) قراردادهای نمونه بین نهادهای یک سیستم.

در شکل فوق GE مدل توان بین نهادهای تولیدکننده و دلالان را نشان میدهد GD مدلکننده تبادل مستقیم توان بین تولیدکننده و مصرف کننده میباشد و بهمین ترتیب سایر تبادلات شامل EE و GG و ED تعریف میشوند. شکل ۲-۱ یک مثال از شبکههای مجازی تبادلات را نشان میدهد در این مثال تبادلات یک سیستم که شامل ۴ تولیدکننده، ۴ مصرفکننده و سه دلال است به صورت شبکه مدل شده است. بدیه س که حرکت واقعی توان بدین شکل نخواهد بود لذا به این شبکه، شبکه مجازی با تبادلات توان گفته میشود. این شبکه هیچ رابطهای با شبکه اصلی ندارد.



شکل (۱-۲) یک شبکه مجازی نمونه.

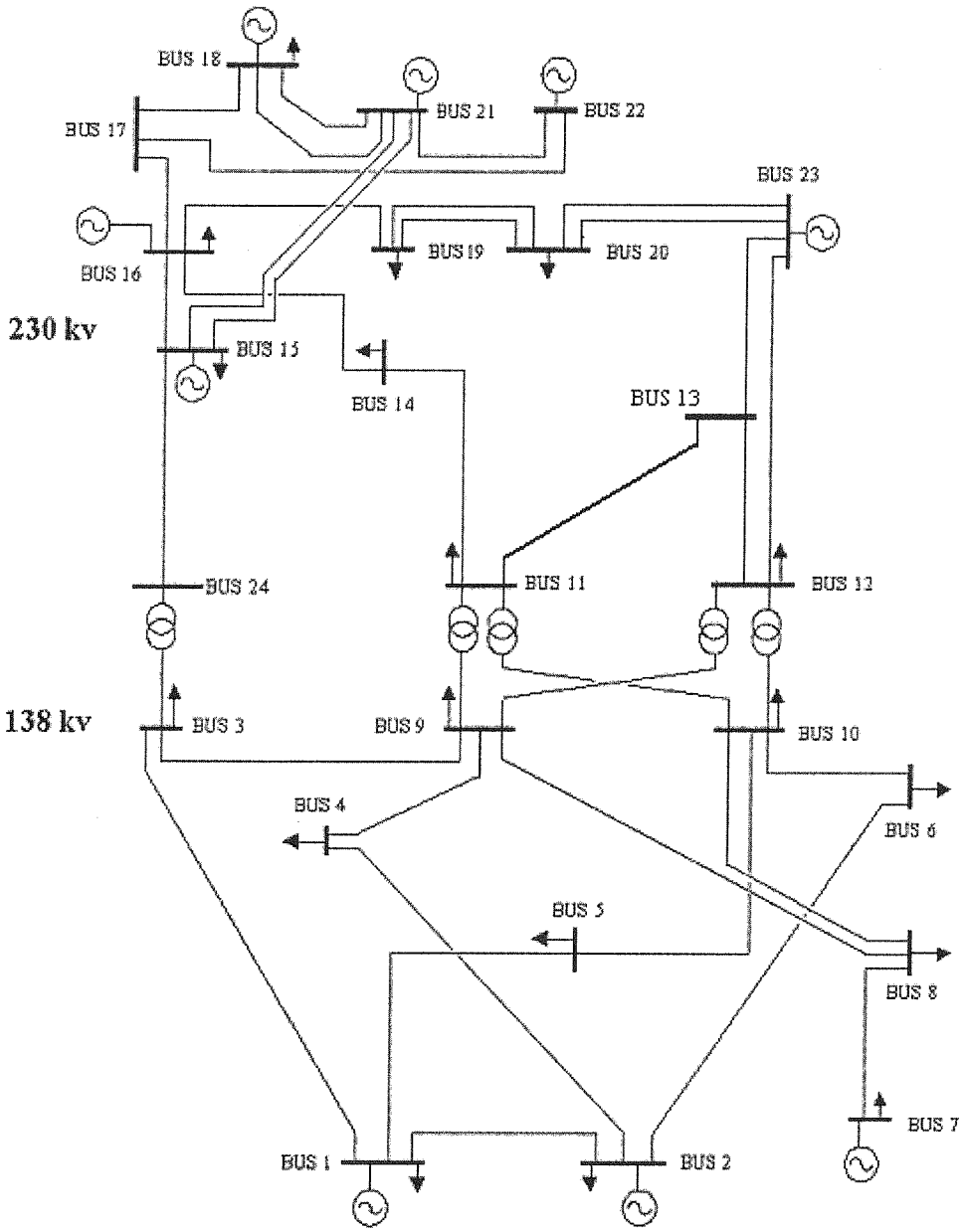
به منظور مدل کردن تبادلات، ماتریس تبادلات بر مبنای شبکه فوق و مطابق رابطه زیر تعریف میشود.

$$T=\begin{bmatrix} GG & GD & GE \\ DG & 0 & DE \\ EG & ED & EE \end{bmatrix}$$

برای شبکه شکل ۱-۲ ماتریس T به شکل زیر خواهد بود.

$$\begin{bmatrix}
0 & 0 & 0 & 0 & 200 & 0 & 0 & 150 & 250 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 300 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 200 & 0 & 0 & 150 & 100 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 230 & 0 & 0 & 0 \\
-200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -50 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -100 & -300 & -50 \\
0 & -300 & -200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -250 & -50 \\
-150 & 0 & 0 & -230 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
-250 & 0 & 0 & 0 & 50 & 100 & 0 & 0 & 0 & 100 & 0 \\
0 & 300 & -150 & 0 & 0 & 300 & 250 & 0 & -100 & 0 & 0 \\
0 & 0 & -100 & 0 & 0 & 50 & 50 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{bmatrix}$$

پیوست دوم: سیستم نمونه



شکل (۲-۱) دیاگرام تک خطی شبکه IEEE RTS .

جدول (۲-۱) اطلاعات خطوط شبکه.

From Node	To Node	R	X	B
1	2	0.0026	0.0139	0.2306
1	3	0.0546	0.2112	0.0286
1	5	0.0218	0.0845	0.0115
2	4	0.0328	0.1267	0.0172
2	6	0.0497	0.192	0.026
3	9	0.0308	0.119	0.0161
3	24	0.0023	0.0839	0
4	9	0.0268	0.1037	0.0141
5	10	0.0228	0.0883	0.012
6	10	0.0139	0.0605	1.2295
7	8	0.0159	0.0614	0.0166
8	9	0.0427	0.1651	0.0224
8	10	0.0427	0.1651	0.0224
9	11	0.0023	0.0839	0
9	12	0.0023	0.0839	0
10	11	0.0023	0.0839	0
10	12	0.0023	0.0839	0
11	13	0.0061	0.0476	0.05
11	14	0.0054	0.0418	0.044
12	13	0.0061	0.0476	0.05
12	23	0.0124	0.0966	0.1015
13	23	0.0111	0.0865	0.0909
14	16	0.005	0.0389	0.0409
15	16	0.0022	0.0173	0.0364
15	21	0.0063	0.049	0.0515
15	21	0.0063	0.049	0.0515
15	24	0.0067	0.0519	0.0546
16	17	0.0033	0.0259	0.0273
16	19	0.003	0.0231	0.0243
17	18	0.0018	0.0144	0.0152
17	22	0.0135	0.1053	0.1106
18	21	0.0033	0.0259	0.0273
18	21	0.0033	0.0259	0.0273
19	20	0.0051	0.0396	0.0417
19	20	0.0051	0.0396	0.0417
20	23	0.0028	0.0216	0.0228
20	23	0.0028	0.0216	0.0228
21	22	0.0087	0.0678	0.0712

× تپ تمام ترانسفورمرها در حالت نامی قراردارد.

جدول (۲-۲) پارامترهای بار و مولدهای شبکه.

	نهاد	شین مرتبط	بار (MW)	P_{max}	P_{min}	Q_{max}	Q_{min}
ژنراتورها	1	1	---	192	0	120	-75
	2	2	---	192	0	120	-75
	3	7	---	350	0	270	0
	4	13	---	591	0	360	0
	5	15	---	250	0	165	-75
	6	16	---	155	0	120	-75
	7	18	---	400	0	300	-75
	8	21	---	400	0	300	-75
	9	22	---	320	0	145	-90
	10	23	---	660	0	450	-175
بارها	1	1	118				
	2	2	97				
	3	3	180				
	4	4	74				
	5	5	100				
	6	6	170				
	7	7	150				
	8	8	195				
	9	9	300				
	10	10	195				
	11	13	265				
	12	14	186				
	13	15	347				
	14	16	100				
	15	18	350				
	16	19	181				
	17	20	148				

× ضریب قدرت برای تمام بارها ۰/۸فرض شده است.

جدول (۲-۳) مقادیر وقیود تبادلات توان.

تبادلات			مقدار اولیه	حد پایین	حد بالا		
					غیر فازی	فازی	
						مقدار	انحراف
GE	1	1	61	30	65	65	0
	2	2	70	0	75	75	0
	3	4	55	0	55	55	0
	4	1	350	300	360	360	0
	4	2	11	0	20	20	0
	4	3	47	0	40	40	0
	5	3	190	100	200	190	10
	6	2	50	0	55	55	0
	8	3	280	200	280	280	10
	8	5	110	80	115	115	0
	9	3	200	0	200	200	0
	10	1	108	0	110	110	0
	10	2	40	0	50	50	0
	10	3	100	0	100	100	0
	10	4	200	0	210	210	0
	10	5	40	0	50	50	0
GD	1	1	90	0	100	100	0
	1	15	30	0	35	35	0
	2	2	50	0	60	60	0
	2	8	45	0	45	45	0
	3	11	90	0	100	100	0
	3	13	200	100	200	200	0
	4	4	30	0	40	40	0
	5	4	44	0	50	50	0
	6	11	100	80	110	110	0
	7	15	320	200	330	330	0
	7	16	45	0	45	45	0
	9	12	100	0	110	110	0
	10	14	100	100	110	110	0
ED	1	2	47	0	50	50	0
	1	3	100	0	110	110	0
	1	6	50	0	50	50	0
	1	10	100	0	110	110	0
	1	12	86	0	90	90	0
	1	16	136	100	140	140	0
	2	6	80	0	80	80	0
	2	17	91	0	95	95	0
	3	3	80	0	90	90	10
	3	5	100	0	100	100	10
	3	6	40	0	50	50	10
	3	7	100	50	100	100	10
	3	8	150	100	150	150	10
	3	9	200	150	200	200	10
	3	13	147	100	150	150	10
	4	1	28	0	30	30	0
	4	7	50	0	50	50	0
	4	9	50	0	60	60	0
	4	10	95	0	100	100	0
	4	17	32	0	40	40	0
	5	9	50	0	50	50	0
	5	11	75	0	80	80	0
	5	17	25	0	30	30	0

زیرنویس‌ها

1- Contract For Difference
2- Virtual Network
3- Continuation Method

مراجع

[1] M. Dondo, M.E. El-Hawary, Application of fuzzy logic to electricity pricing in a deregulated environment, *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 1996, Vol. 2: p. xl+1026.

[2] M. Muchayi, M.E. El-Hawary, wheeling rates evaluation using optimal power flows, *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 1998, Vol. 2: p.xliii+939.

[3] S. Ahmed, G. Strbac, A method for simulation and analysis of reactive power market, *IEEE Trans On Power Systems*, 15(3), 2000, 1047-1052.

[4] J.W.M. Cheng, F.D. Galiana, D.T. McGillis, Studies of bilateral contracts with respect to steady state security in a deregulated environment, *IEEE Trans On Power Systems*, 13(3), 1998, 1020-1025.

[5] F.D. Galiana, M. Ilic, A mathematical framework for the analysis and management of power transactions. *IEEE Trans On Power Systems*, 13(2), 1998, 681-687.

[6] G. Huang, S.C. Hsieh, Fast textured algorithm for optimal power delivery problems in deregulated environments, *IEEE Trans On Power Systems*, 13(2), 1998, 493-500.

[7] S. Hao, G.A. Angelidis, H. Singh, A.D. Papalexopoulos, Consumer payment minization in power pool auctions, *IEEE Trans On Power Systems*, 13(3), 1998, 986-991.

[8] H. Singh, S. Hao, A.D. Papalexopoulos, Transmission congestion management in competitive electricity markets, *IEEE Trans On Power Systems,* 13(2), 1998, 672-680.

[9] K. Seeley, J. Lawarree, C.C. Liu, Analysis of electricity market rules and their effects on strategic behavior in a noncongestive grid, *IEEE Trans On Power Syaytems*, 15(1), 2000, 157-162.

[10] I. Otero-Novas, C. Meseguer, C. Batlle, J.J. Alba, A simulation model for a competitive generation market, *IEEE Trans On Power Systems*, 15(1), 2000, 250-256.

[11] F.D. Galiana, M. Phelan, Allocation of transmission losses to bilateral contracts in a competitive environment, *IEEE Trans On Power Systems*, 15(1), 2000, 143-150.

[12] F.D. Galiana, A.J. Conejo, I. Kockar, Incremental transmission loss allocation under pool dispatch, *IEEE Trans On Power Systems*, 17(1), 2002, 26-33.

[13] K. Almeida, F.D. Galiana, S. Soares, A general parametric optimal power flow, *IEEE Trans. On Power Systems*, 9(1), 1994, 540 -547.