سیزدهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق
۱۱و ۱۲ اردیبهشت ۱۳۸۷- گیلان

نقش متعادل سازی بار فیدرها در افزایش سود شرکت های توزیع در بازار برق

الهه مشهور
شرکت توزیع نیروی برق خوزستان
E-mail: mashhour@ee.kntu.ac.ir

کلمات کلیدی: سود شرکت های توزیع، هزینه شرکت های توزیع، متعادل سازی بار، تلفات

چکیده:

در این مقاله ضمن بیان جایگاه تلفات در جریان نقدینگی شرکت های توزیع در بازار برق و ارتباط متعادل سازی فیدرها با کاهش تلفات فنی سیستم، الگوریتمی جهت متعادل سازی بار فیدرها در شبکه توزیع ارائه می گردد. سپس الگوریتم پیشنهادی بر یک شبکه ۳۳ کیلوولت عملی در شهرستان ماهشهر پیاده سازی و نتایج مربوطه بررسی و تأثیر آن بر کاهش هزینه های شرکت توزیع خوزستان در بازار برق تحلیل می شود.

۱-مقدمه

بازار برق ایران از نیمه دوم سال ۱۳۸۲ فعالیت خود را با مدل آژانس خرید شروع و در سال ۱۳۸۶ وارد مد بازار عمده فروشی گردیده است. در حال حاضر شرکت های توزیع مستقیماً در بازار عمده فروشی شرکت و برق مورد نیاز مشترکین خود را از بازار خریداری می نمایند. این وضعیت جدید چالش ها و تنگناهایی را پیش روی شرکت های توزیع قرار داده است که لازم است با درایت نسبت به حل آنها اقدام شود. یکی از مهمترین مسائل، سود شرکت های توزیع در این محیط جدید می باشد. صرفنظر از یارانه هایی که در حال حاضر به شرکت های توزیع تخصیص داده می شود، این سود از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

$$P = R - C \qquad (۱)$$

P: سود شرکت های توزیع در یک بازه زمانی (مثلاً یک ساله)

R: درآمد حاصل از فروش برق به مصرف کنندگان نهایی در یک بازه زمانی (مثلاً یک ساله)

C: هزینه ناشی از خرید برق از بازار در یک بازه زمانی (مثلاً یک ساله)

با توجه به اینکه فروش برق به مصرف کنندگان نهایی مطابق با تعرفه مصوب وزارت نیرو می باشد، R ثابت بوده ولی چون قیمت های بازار برق به صورت ساعتی تغییر می کنند، C پارامتری متغیر می باشد. قابل ذکر است علی رغم معین بودن تعرفه، وقوع خاموشی درآمد حاصل از فروش برق به مشترکین نهایی را کاهش می دهد. لذا لازم است شرکت های توزیع به منظور افزایش سود خود و دستیابی به نقدینگی بالاتر:

۱- هزینه خرید برق خود از بازار (C) را تا حد امکان کم کنند. مدیریت سمت تقاضا (DSM)[1] ابزار قدرتمندی برای این منظور می باشد.

۲- با کم کردن تلفات، هزینه های خرید برق از بازار (C) را کاهش داده و با بالا بردن شاخص های امنیت شبکه و بهبود بهره برداری، درآمد حاصل از فروش برق به مصرف کنندگان نهایی را افزایش دهند.

[1] . Demand Side Management.

در این مقاله ما موضوع دوم را با تمرکز روی کم کردن تلفات فنی از طریق متعادل سازی بار فیدرها مورد مطالعه قرار می دهیم. این روش تقریبا بی هزینه بوده و بخشی از تلفات فنی سیستم را صرفاً با انجام مانور روی شبکه کاهش داده و منجر به کم کردن هزینه های خرید برق از بازار و افزایش سود شرکت های توزیع می شود. براین اساس ادامه مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است:

در بخش ۲ جایگاه تلفات و همچنین شاخص های امنیت شبکه در جریان نقدینگی شرکت های توزیع در بازار برق بیان می شود. در بخش ۳ الگوریتمی جهت متعادل سازی بار فیدرهای توزیع ارائه می شود. در بخش ۴ الگوریتم بر یک شبکه عملی شامل سه فیدر فشار متوسط از شهرستان ماهشهر واقع در جنوب شرق استان خوزستان پیاده سازی و شاخص های فنی سیستم شامل تلفات، شاخص تعادل بار و حداکثر افت ولتاژ سیستم در نتیجه اجرای الگوریتم ارائه می شود. در بخش ۵ تأثیر متعادل سازی بار بر کاهش هزینه ها و افزایش سود شرکت توزیع خوزستان در بازار برق بررسی می گردد. بخش ۶ به نتیجه گیری اختصاص دارد.

۲- جایگاه تلفات و شاخص های امنیت شبکه در جریان نقدینگی شرکت های توزیع

شرکت های توزیع در حالیکه توان مورد نیاز مصرف کنندگان نهایی و توان تلفاتی شبکه را از بازار برق خریداری می نمایند، تنها بابت مصرف مصرف کنندگان نهایی، دریافت مالی دارند. لذا با کاهش تلفات شبکه می توان هزینه های آنها را کاهش و میزان نقدینگی آنها را بهبود بخشید. از سویی با بهبود شاخص های امنیت سیستم و در نتیجه کاهش خاموش های ناخواسته، درآمد حاصل از فروش برق به مصرف کنندگان نهایی و در نتیجه سود شرکت های توزیع را افزایش داد. این موضوع به ویژه در فصل پیک حائز اهمیت است. چون وجود فیدرها و انشعابات پربار در شبکه باعث افزایش جریان عبوری از خطوط شده و این مسأله خود باعث افزایش تلفات شبکه و افزایش افت ولتاژ می شود. از سویی انشعابات یا فیدرهای پربارتر شبکه توزیع درمعرض وقوع اتفاقات بیشتری قرار داشته و احتمال سست شدن اتصالات[1]، بریدن و یا سوختن اتصالات درآنها بیشتر است. بدین ترتیب احتمال وقوع خاموشی فیدرهای پربارتر زیادتر بوده و تداوم تغذیه در این فیدرها درمعرض تهدید واقع می شود. لذا در این شرایط احتمال کاهش درآمدهای حاصل از فروش برق وجود دارد. از آنجا که در فصل پیک بدلیل محدودیت های تولید و انتقال، قیمت های ساعتی برق احتمالا به مرزهای بالای خود نزدیک می شوند، کم کردن تلفات و کاهش خاموشی ها برای شرکت های توزیع بسیار حائز اهمیت است. این موضوع به ویژه در شرکت های توزیع مناطق گرمسیری قابل توجه است. اگرچه تلفات شرکت های توزیع از دو بعد فنی و غیر فنی قابل دسته بندی است، از آنجا که عدم تعادل بار فیدر ها در شبکه، افزایش تلفات اهمی سیستم و همچنین افزایش خامو شی های ناخواسته را به دنبال دارد، در این مقاله تمرکز ما بر هزینه های ناشی از عدم تعادل بار یا به طور خلاصه تمرکز بر مدیریت و بهینه سازی بهره برداری شبکه می باشد. در ادامه الگوریتمی را جهت متعادل سازی بار ارائه می دهیم.

۳-متعادل‌سازی بار

برای تعریف مفهوم تعادل بار، نسبت $\frac{S_i}{S_i^{\max}}$ به عنوان شاخص تعادل بار شاخه i ام[2] تعریف می‌شود[۱]. در این صورت تعاریف مختلفی برای شاخص تعادل بار کل سیستم[3] قابل ارائه است که مهمترین آنها عبارتند از[۲]:

$$SLB = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{S_i}{S_i^{\max}}\right)^2 \qquad (۲)$$

البته شاخص تعریف مناسبی از تعادل بار سیستم ارائه نمی‌دهد، چون ممکن است شاخص تعادل بار یک شاخه کوچک و شاخص تعادل بار یک شاخه بزرگ باشد، اما مجموع مربعات آنها حداقل شود.

تعریف دیگر برای شاخص تعادل بار کل سیستم به صورت رابطه (۳) می باشد[۳]:

$$SLB = \sum_{i=1}^{n}\left|\frac{S_i}{S_i^{\max}}\right| = \sum_{i=1}^{n}\frac{\sqrt{P_i^2+Q_i}^2}{S_i^{\max}} \qquad (۳)$$

در این رابطه:

n: تعداد کل شاخه های شبکه.

P_i: قدرت حقیقی جاری شده در شاخه i ام.

Q_i: قدرت راکتیو جاری شده در شاخه i ام.

البته این شاخص نیز نمی‌تواند به خوبی مبین متعادل بودن سیستم باشد، چون ممکن است شاخص تعادل بار یک شاخه کوچک و شاخص تعادل بار شاخه دیگر بزرگ باشد ولی مجموع آنها حداقل شود.

---

[1]. Lose Connection

[2]. Branch Load Balancing Index

[3]. System Load Balancing Index

تعریف دیگری که برای شاخص تعادل بارکل سیستم قابل ارائه است عبارت است از[۱و۴و۵]:

$$SLB = Max\left(\frac{S_i}{S_i^{\max}}, i = 1,2,..,n\right) \qquad (۴)$$

که دراین رابطه n تعدادکل شاخه های سیستم می باشد. در مقایسه با دو تعریف قبل این شاخص هدف تعادل بار را بیشتر منعکس می کند، چون کمینه سازی شاخص فوق بعنوان یک تابع هدف به سمت تعدیل شاخص تعادل بار هر شاخه پیش می رود .

پراکندگی[1] نسبت $\frac{S_i}{S_i^{\max}}$ برای تمام شاخه‌های سیستم نیز می تواند تعریف مناسبی برای شاخص تعادل بارکل سیستم باشد[۶]:

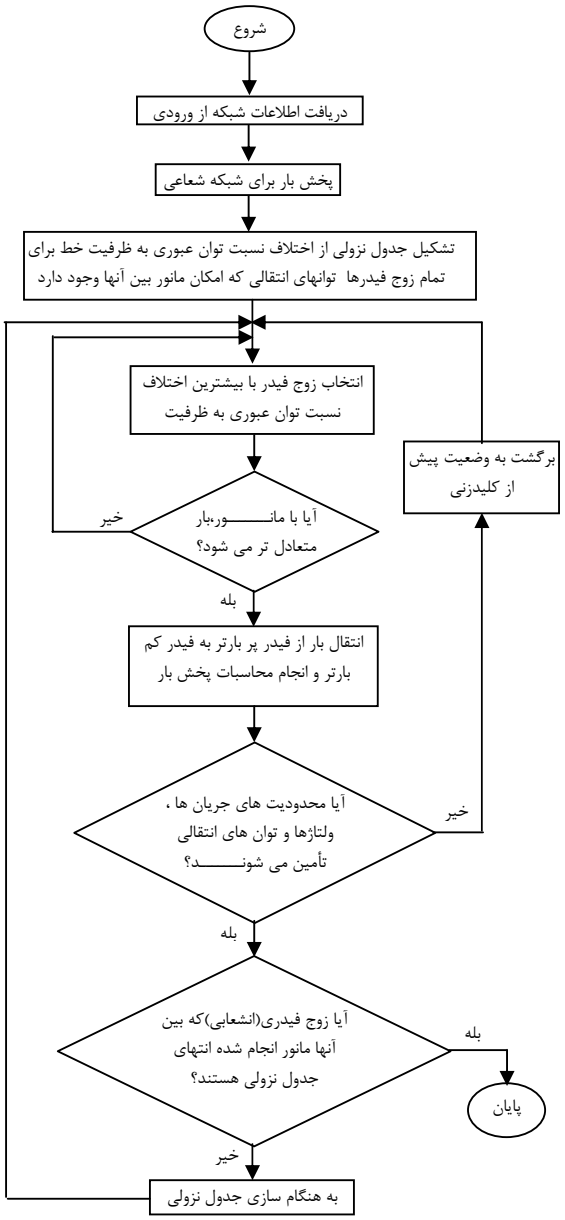
$$SLB = VAR\left(\frac{S_i}{S_i^{\max}}, i = 1,2,..., n\right) \qquad (۵)$$

کمینه سازی این شاخص نیز بعنوان تابع هدف، مبین متعادل شدن بار شاخه ها است.

پس ازتشخیص عدم تعادل بار درسیستم می توان با انتقال بار از فیدرهای پربارتر به فیدرهای کم بارتر سیستم را متعادل کرد. البته انتقال بار باید بگونه ای و به اندازه ای صورت گیرد که سیستم نامتعادل تر نشود و همچنین محدودیت های الکتریکی سیستم نقض نگردد. برای این منظور باید معیار سنجش تعادل بار بخوبی انتخاب، محاسبه و ساختار بهینه شبکه ارائه شود یا بعبارتی سیستم بازآرایی شود. دراین تحقیق الگوریتم پیشنهادی شاخص های (۴) و (۵) را با هم ترکیب می نماید. بدین ترتیب که به دنبال کمینه سازی رابطه (۴) بوده:

$$SLB = Min \quad Max\left(\frac{S_i}{S_i^{\max}}, i = 1,2,.., n\right) \qquad (۶)$$

و در هرمرحله از اجرای الگوریتم، رابطه(۵) نیز به عنوان پارامتر تعیین کننده میزان تعادل بار سیستم محاسبه می شود. پس از انجام پخش بار، توان عبوری کلیه شاخه های شبکه و از جمله شاخه های اول فیدرهای خروجی پست های فوق توزیع محاسبه می‌شود. سپس اختلاف بین $\frac{S_i}{S_i^{\max}}$ این خطوط با هم محاسبه شده و جدولی نزولی از این اختلاف نسبت ها تشکیل می گردد. دو فیدری که مطابق با جدول، اختلاف این نسبت در آنها بیش از سایر فیدرها است (در صورتی که از نظر وضعیت شبکه امکان مانور داشته باشند) برای متعادل سازی بار انتخاب می‌شوند. سپس کلید مانوری که این دو فیدر را به هم متصل می‌کند، بسته می‌شود. در مرحله بعد انتقال بار از فیدر پر بار تر به فیدر کم بار تر به اندازه‌ای صورت می‌گیرد که سیستم نامتعادل‌تر نشود. سپس محاسبات پخش بار انجام شده و در صورتی که محدودیت های جریانهای خطوط و حدود ولتاژها نقص نشود این آرایش پذیرفته می شود و جدول نزولی مذکور نیز به هنگام می شود. این روند تا جایی ادامه می یابد که در یک تکرار پس از بررسی تمام زوج فیدرهایی که با هم امکان مانور دارند (مطابق با جدول نزولی فوق الذکر) هیچگونه متعادل سازی در سیستم امکان پذیر نباشد. روند نمای الگوریتم پیشنهادی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): روندنمای الگوریتم متعادل سازی بار

[1].Variance

۴ – پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی بر شبکه عملی

فیدرهای ۵۰۲۲ و ۵۰۴۲ ایستگاه فرعی ماهشهر۲ و فیدر ۵۰۳۲ ایستگاه فرعی چهل مایل به عنوان شبکه آزمون مورد استفاده قرار گرفته اند. این شبکه دارای ۲۸۰ ترانس توزیع هوایی و باری معادل ۴۰ مگا ولت آمپر می باشد. مشخصات فنی این شبکه در مرجع[۷] قابل دسترسی است. این سه فیدر در ولتاژ ۳۳ کیلو ولت بهره برداری می شوند. جنس هادی مورد استفاده در این فیدرها یکسان نبوده و نوع سیم در انشعابات فرعی و انشعاب اصلی هر فیدر نیز متنوع می باشد. حداکثر جریان مجاز فیدرها در انشعاب اصلی و انشعابات فرعی بر اساس جنس سیم در نظر گرفته شده است..همچنین حداکثر افت ولتاژ مجاز سیستم ۵٪ فرض شده است.

شبکه مورد مطالعه دارای سه کلید حالت عادی باز بوده که می توانند برای انجام مانور استفاده شوند. هر کلید بسته یا جمپری که می تواند برای انجام مانور باز یا بسته شود به عنوان یک کلید بسته در نظر گرفته شده اند. با انجام یک پخش بار وضعیت اولیه شبکه مطابق جدول (۱) تعیین می گردد.

جدول (۱) : وضعیت اولیه شبکه

$\frac{S_i}{S_i^{\max}}$ شماره فیدر			شاخص تعادل بار سیستم	درصد حداکثر افت ولتاژ	تلفات اهمی (pu)
۵۰۲۲	۵۰۴۲	۵۰۳۲			
۰/۹۹	۰/۳	۱/۱	۰/۱۸۸	۵/۵	۰/۱۸۷۳

نتایج حاصل از پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی بر شبکه مورد مطالعه در جدول شماره (۲) نشان داده شده است :

جدول (۲) : نتایج حاصل از اجرای الگوریتم بر شبکه مورد مطالعه

$\frac{S_i}{S_i^{\max}}$ شماره فیدر			شاخص تعادل بار سیستم	درصد حداکثر افت ولتاژ	تلفات اهمی (pu)
۵۰۲۲	۵۰۴۲	۵۰۳۲			
۰/۷۲	۰/۵۱	۰/۸۷	۰/۰۳۲۷	۳/۲	۰/۱۱۹۷

جدول (۳) بهبود وضعیت سیستم را پس از مانور نسبت به وضعیت اولیه نشان می دهد.

جدول (۳) :درصد تغییر وضعیت سیستم پس از مانور

شاخص تعادل بار سیستم	حداکثر افت ولتاژ	تلفات اهمی (pu)
۸۲/۶	۳۰	۳۶

همچنانکه ملاحظه می شود سیستم ۸۲/۶ ٪ متعادل تر شده، تلفات ۳۶٪ کاهش یافته و حداکثر افت ولتاژ ۳۰٪ بهبود داشته است.

۵ – تأثیر فرآیند متعادل سازی بر کاهش هزینه و افزایش سود شرکت توزیع نیروی برق خوزستان در بازار برق

بر اساس آمار موجود، تلفات فنی شرکت توزیع خوزستان حدود ۱۵٪ می باشد[۸]. در شبکه مطاله شده تلفات فنی سیستم ۳۶٪ کاهش یافته است. با توجه به وجود 451 فیدر فشار متوسط در حوزه شرکت توزیع خوزستان، در صورتی که این شبکه به طور بهینه متعادل سازی شود، می توان به کاهش خوبی در تلفات سیستم دست یافت. در صورتی که با این روش ۱۰٪ از تلفات فنی کل سیستم را کاهش دهیم، این بدین معنی است که ۱/۵٪ از کل تلفات سیستم را بدون صرف هزینه کاهش داده ایم. این ۱/۵٪ برای سال های ۸۴ و ۸۵ به ترتیب معادل ۷۱۱۱۴ و ۷۱۹۹۱ مگاوات ساعت می باشد. از آنجا که قیمت های بازار برق، قیمت های ساعتی هستند، محاسبه دقیق میزان ریالی صرفه جویی شده معادل مقدور نمی باشد. لیکن بر اساس میانگین هزینه خرید برق از بازار در سال ۸۵ (زمانی که شرکت برق منطقه ای خوزستان به نمایندگی از سوی شرکت توزیع خوزستان در بازار شرکت می کرده است) یعنی ۵۵۰ ریال به ازای هر کیلو وات ساعت، این میزان برای سال ۸۵ تقریباً معادل ۴۰ میلیارد ریال می باشد. این به مفهوم کم کردن پارامتر C در رابطه (۱) می باشد. بدین می توان بدون هزینه یا با صرف هزینه بسیار کم (هزینه احتمالی برای نصب کلید هوایی) به صرفه جویی قابل ملاحظه ای دست یافت و از آن برای سرمایه گذاری در کاهش تلفات غیرفنی (جمع آوری انشعابات غیر مجاز) یا موارد ضروری دیگر استفاده کرد.

همچنین با متعادل سازی بار شبکه، امنیت سیستم بیشتر شده و خاموشی های ناخواسته ناشی از پرباری فیدرها کاهش یافته و می توان از فروش انرژی به مصرف کنندگان نهایی بیشتر مطمئن بود. در این صورت پارامتر R در رابطه (۱) افزایش می یابد. بنابراین افزایش سود بیشتر از ۴۰میلیارد ریال فوق الذکر خواهد بود.

۶ – نتیجه گیری

دراین مقاله جایگاه تلفات و شاخص های امنیت شبکه در میزان سود شرکت های توزیع مطرح گردید. سپس نقش متعادل سازی بار بر کاهش تلفات و بهبود شاخص های امنیت سیستم بیان گردید. الگوریتمی جهت متعادل سازی بار فیدرهای شبکه توزیع ارائه و برای یک سیستم عملی واقع در شهرستان ماهشهر پیاده سازی گردید و تأثیر آن بر بهبود تلفات نشان داده شد. سپس یک تحلیل مالی بر نتایج حاصله انجام گردید. در صورتی که بتوان متعادل سازی بهینه را برای کل شبکه توزیع خوزستان انجام داد، می توان به کاهش هزینه قابل ملاحظه ای (بیش از۴۰ میلیارد ریال با فرضیات این مقاله که به واقعیت های شبکه توزیع خوزستان نزدیک است) دست یافت.

۶- فهرست مراجع

[1].H.D.Ghiang ,R.Jean-Jameau "*Optimal network reconfiguration in distribution system part1: a new formulation and solution methodology*", IEEE Trans. on Power Delivery Vol.5 No . 4 PP.1402 – 1404 Novamber 1990.

[2].D.S.Choi,C.S.Kim,J.Hasegwa,"*An application of genetic algorithms to the network reconfiguration in distribution for loss minimization and load Balancing(Part2)*" IEEE Catalogue No.45TH8130 PP. 376 – 381 ,1995 .

[3].M.E.Baran,F.F.Wa,"*Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing*",IEEE Trans.on Power Delivery, Vol.4, No .2, PP.1401 – 1407 ,April 1989 .

[4]. H.D.Ghiang ,R.Jean-Jameau "*Optimal network reconfiguration in distribution system part 2: solution algorithms and numerical result"*, IEEE Trans. on Power Delivery Vol.5 ,No.3, PP.1568 – 1574,July 1990.

[5]. R Hooshmand, E Mashhoor, "*Application of fuzzy algorithm in optimal reconfigeration of distribution networks for loss reduction and load balancing*" Engineering Intelligent Systems, Vol. 14 No. 1, page(s):15-23, march 2006.

[6]. Ebrahimi**,** A. Mohseni, S., **"***Multipurpose reconfiguration of distribution systems using fuzzyreasoning approach***"** , IEE, 16th international conference and exhibition on electricity distribution, Volume.4, page(s): 5 pp, 2001.

[۷]. دیاگرام تک خطی فیدر های ناحیه جنوب شرق، امور مهندسی ناحیه جنوبشرق شرکت توزیع برق خوزستان، سال ۸۵.

[۸]. گزارش تحلیلی تلفات شرکت توزیع خوزستان، امور کنترل بار، مرداد ۱۳۸۶.