



KNO-1002-4002

کاهش تلفات توان با حداقل تغییر فاز مشترکین به منظور متعادل سازی فازها در بهره برداری شبکه های توزیع

بلال محمدی کله سر¹، جواد بهکش¹، یاور سلیمان زاده²، رئوف حسن پور¹، مهیار عباسی³

شرکت توزیع نیروی برق استان اردبیل¹ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشگین شهر² - باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر³

جمهوری اسلامی ایران

belal.mohamadi@gmail.com¹

چکیده — شبکه های توزیع از بارهای متفاوت صنعتی، خانگی و تجاری تشکیل می شود که بارهای تکفاز سهم اصلی را دارا می باشد. توزیع نامتعادل مشترکین تکفاز در شبکه های توزیع و رفتار تصادفی مشترکین تکفاز می تواند باعث ایجاد نامتعادلی در شبکه های توزیع گردد. به دلیل این ویژگی نامتعادل شبکه های توزیع، جریان بزرگی از سیم نول عبور کرده و باعث افزایش تلفات توان و نامتعادلی ولتاژ در شبکه توزیع می گردد. در این مقاله الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات با سازگاری دینامیکی (DAPSO) برای استخراج روش تغییر فاز مشترکین به منظور افزایش تعادل سیستم توزیع سه فاز پیشنهاد می شود. تابع چندهدفه با در نظر گرفتن نسبت تلفات توان به تلفات اولیه و تعداد مشترکین تغییر فاز یافته نسبت به کل مشترکین شبکه فرمول بندی می شود. یک فیدر فشار ضعیف با 315 مشترک که از پست 400 کیلوولت آمپر تغذیه می شود از بانک GIS شهرستان اردبیل استخراج شده و به صورت شبکه 24 شینه در محیط نرم افزار MATLAB مدل سازی شده است. الگوریتم DAPSO به عنوان ابزار بهینه سازی به منظور متعادل سازی فازهای شبکه با کمترین تعداد جابجایی مشترکین بین فازها بیشترین کاهش تلفات و بهبود در شاخص عدم تعادل ولتاژ و جریان استفاده شده است. برای نمایش اثربخشی روش پیشنهادی برای افزایش تعادل سیستم سه فاز، یک فیدر توزیع فشار ضعیف واقعی از دیتابیس GIS اردبیل با 315 مشترک برای شبیه سازی کامپیوتری انتخاب شده است. با کمینه سازی تابع هدف و بهبود شاخص نامتعادلی ولتاژ و جریان تحت قیود بهره برداری، استراتژی تغییر فاز با کمترین تعداد مشترکین برای تغییرات فاز استخراج می شود.

واژه های کلیدی — تلفات توان؛ شبکه نامتعادل؛ متعادل سازی فاز؛ بهره برداری شبکه.

مقدمه

از مسائل مهم و رایج در شبکه های توزیع می باشد که به دلیل عدم توزیع مناسب بارها و مشترکین بین فازها بوجود می آید و پیامدهای مهمی از قبیل افزایش تلفات انرژی الکتریکی، اشغال ظرفیت شبکه، برقرار شدن سیم نول، نامتعادل ولتاژهای سه فاز در شبکه توزیع و افزایش تلفات مسی و آهنی تراسفورماتور را بدنبال دارد [1 و 2]. هدف اصلی متعادل سازی فاز پخش متعادل بارها بین فازهای شبکه می باشد به نحوی که با کمترین تعداد

شبکه های توزیع انرژی الکتریکی گسترده ترین بخش سیستم قدرت به شمار می روند. این شبکه ها واسط میان مصرف کننده و سیستم انتقال و تولید هستند و به سبب نزدیکی به مصرف کننده از حساسیت خاصی برخوردارند به طوریکه بروز هرگونه اختلال در این شبکه می تواند مشترکین را با مخاطره روبرو کند و باعث قطع سرویس مصرف کنندگان شود. عدم تعادل بار یکی

کاربردی و نوین برای متعادل سازی بارهای شبکه فشار ضعیف توزیع با بهبود الگوریتم بهینه سازی Leap-Frog ارائه شده است. در مرجع [20] روشی بیان شده است که با استفاده از آن، اثرات سوء عدم تعادل کاهش می‌یابد. در این روش تعدادی از بارهای روی فیدر به عنوان بار کنترلی تعیین شده و به نحوی بر روی فازها با کلیدزنی جابجا می‌شوند که شاخص عدم تعادل ولتاژ در محدوده مجاز استاندارد شبکه های توزیع قرار گیرد.

در این مقاله متعادل سازی فاز به منظور کاهش تلفات توان و بهبود شاخص عدم تعادل بار شبکه‌های توزیع با کمترین تعداد جابجایی مشترکین بین فازها به کمک الگوریتم DAPSO ارائه شده است. این الگوریتم تلفات توان شبکه را به عنوان تابع هدف مورد بهینه‌سازی قرار می‌دهد. در ادامه روش پخش بار، مراحل روش هو شمند، تابع هدف و نتایج حاصل از پیاده سازی این روش بر روی شبکه 24 شینه واقعی ارائه خواهد شد.

پخش بار نامتعادل

یکی از مهمترین و وسیع‌ترین ابزار تجزیه و تحلیل سیستم توزیع آنالیز پخش بار می‌باشد. در این مقاله مساله بهینه‌سازی نیازمند حل متوالی مساله پخش بار می‌باشد بنابراین روشی که برای پخش بار استفاده می‌شود باید با نیرومندی و سرعت همگرایی بالا صورت گیرد. روش مورد استفاده در این مقاله برای تحلیل شبکه توزیع شعاعی نامتعادل در مرجع [16] ارائه شده است. با توجه به اینکه اکثر روشهای استفاده شده برای پخش بار با استفاده از کاهش کرون سیستم چهارسیمه را به سیستم سه سیمه تبدیل می‌کنند، اطلاعات جریان و ولتاژ سیم نول مجهول خواهد ماند. روش پخش بار استفاده شده در این مقاله، از تکنیک جاروب پس رو-پیش رو برای مدل‌سازی سیستم چهارسیمه سه فاز مطابق با شکل (1) استفاده می‌نماید.

جابجایی مشترکین بین فازها باعث کاهش تلفات توان شبکه و بهبود شاخص عدم تعادل بار شود. این مقاله به بررسی و ارزیابی نامتعادلی شبکه فشار ضعیف ناشی از توزیع نامناسب مشترکین تکفاز روی فازهای شبکه می‌پردازد. از آنجایی که هرگونه تغییری در دامنه یا زاویه فاز ولتاژهای سه فاز یک شبکه الکتریکی رخ دهد باعث ایجاد نامتعادلی ولتاژ در شبکه می‌گردد بنابراین نامتعادلی بارها و توزیع نامناسب آنها به عنوان یکی از عوامل موثر در کاهش کیفیت توان شبکه‌های توزیع می‌باشد.

استراتژی تغییر فاز برای اولین بار در سال 1997 به عنوان یک روش برنامه ریزی صحیح مرکب معرفی شد [3]. مراجع [4 و 5] با هدف قرار دادن تلفات شبکه متعادل‌سازی شبکه توزیع را در بخش فشار ضعیف با استفاده از منطق فازی مورد بحث و بررسی قرار می‌دهد. در مرجع [6] افزایش تعادلی سه فاز سیستم‌های توزیع با جابجایی فاز در خطوط فرعی به کمک سیستم خبره پیاده سازی شده است. مرجع [7] برای استخراج استراتژی تغییر فاز خطوط فرعی و ترانسفورماتورهای توزیع و توسعه متعادل‌سازی سه فاز شبکه های توزیع از الگوریتم ایمنی استفاده می‌نماید. مرجع [8] الگوریتم ابتکاری مبتنی بر قوانین جستجوی پیمایش معکوس را مورد استفاده قرار می‌دهد. در مرجع [9] الگوریتم SA برای متعادل‌سازی فاز شبکه‌های با مقیاس بزرگ سازگار شده است. در مرجع [10] هدف اصلی متعادل سازی بارها بین فازها تحت قیودی نظیر معادلات پخش بار، قیود ولتاژ و ظرفیت و کاهش تلفات توان است. بنابراین این مساله به صورت مساله چندهدفه تعریف شده‌اند. در این مقاله از الگوریتم ابتکاری ترکیبی فازی و جستجوی حریر استفاده شده است. مرجع [11] به تغییرات چشمگیر تلفات توان در اثر نامتعادلی بار اشاره می‌کند. مرجع [12] یک روش جدید برای متعادل سازی بار را با استفاده از الگوریتم ژنتیک خاصی که منحنی بار را در نظر می‌گیرد، ارائه کرده است. در مرجع [13] متعادل‌سازی فاز با معرفی اتصالات جدید سیم‌بندی در ترانسفورماتورهای دو سیم‌پیچ انجام یافته است. مرجع [18] روشی گام به گام مبتنی بر اطلاعات محدود برای متعادل‌سازی بار فازها در شبکه‌های توزیع نیروی برق را ارائه می‌دهد. هدف از تعادل بار فازها در روش پیشنهادی کسب بیشینه تعادل بار و کمترین تلفات در فیدرهای فشار ضعیف منتخب می‌باشد. در مرجع [19] روشی



ضریب سرعت تکامل

ضریب سرعت تکامل به صورت رابطه (3) تعریف می شود:

$$h_i^k = \left| \frac{\min(F(\text{pbest}_i^{k-1}), F(\text{pbest}_i^k))}{\max(F(\text{pbest}_i^{k-1}), F(\text{pbest}_i^k))} \right| \quad (3)$$

که $F(\text{pbest}_i^k)$ مقدار شایستگی pbest_i^k می باشد. مقدار h بر طبق تعریف و فرضیات فوق $0 \leq h \leq 1$ می باشد. این پارامتر بیشینه سرعت هر ذره را در نظر می گیرد و سرعت تکاملی هر ذره را نشان می دهد. هرچه مقدار این پارامتر کوچکتر باشد سرعت بیشتر خواهد بود.

ضریب درجه تجمیع

این ضریب به صورت رابطه (4) تعریف می شود:

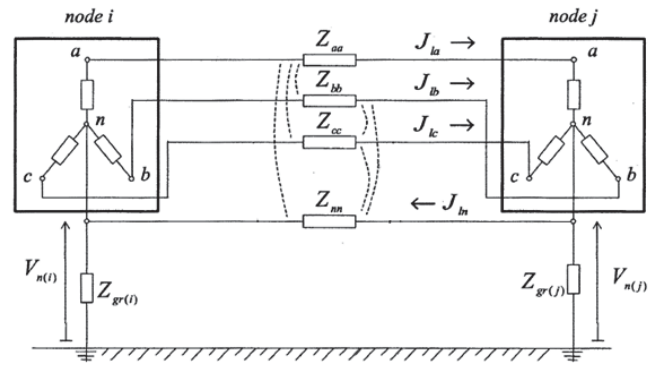
$$s = \left| \frac{\min(F_{tbest}, \bar{F}_t)}{\max(F_{tbest}, \bar{F}_t)} \right| \quad (4)$$

که \bar{F} میانگین شایستگی همه ذرات در بین اجتماع در تکرار i ام و F_{tbest} مقدار بهینه ای را نشان می دهد که در این تکرار پیدا شده است. جهت بهینه سازی یک مسئله تو سط الگوریتم پیشنهادی نکته مهم تبدیل متغیرهای تصمیم مسأله در قالب کدهای قابل استفاده در عملگرهای الگوریتم بهینه سازی مورد استفاده است. کدبندی مساله برای شبکه با n پایه به صورت شکل (2) در این الگوریتم در نظر گرفته شده است.

پایه \ فاز		2	3	...	n
		1	2	1	...
R	شماره مشترک	2	1	...	
		1	1	...	
		3	2	...	
		4	0	...	
S	شماره مشترک	1		...	
		2		...	
		3		...	
T	شماره مشترک	1		...	
		2		...	

شکل 2- نحوه کدبندی مساله متعادل سازی بار فازها

مفهوم کدبندی اعداد داخل کادر به این صورت است که عدد یک به معنی فاز R، دو به معنی فاز S و سه به معنی فاز T می باشد بنابراین کدبندی برای کادر اول از سمت چپ به این معنی است که چهار مشترک روی پایه 2 به فاز R متصل می باشد و مشترک شماره یک به فاز 2، مشترک شماره دو به فاز یک (یعنی به جایی منتقل نگردد و روی فاز R باقی بماند)،



شکل 1- سیستم چهارسیمه سه فاز [16]

جاروب برگشت برای بدست آوردن روابط بین جریان شاخه ها و جریان تزریقی شین ها و جاروب رفت براساس جریان شاخه ها، ولتاژ سه فاز و نول در شین ها را محاسبه می کند.

الگوریتم DAPSO

الگوریتم PSO از رفتارهای اجتماعی مرتبط با دسته هایی از قبیله دسته پرندگان و گروه ماهی ها الهام گرفته شده است. هر جواب محتمل در جمعیت بعنوان ذره نامیده می شوند. هر ذره با دو بردار در فضای جستجو تعیین می شود. بردار موقعیت و بردار سرعت. الگوریتم DAPSO، شاخه ای قدرتمندتر از الگوریتم PSO است که در مرجع [17] بهبود یافته است. برای بهبود باید در رابطه (1) که برای بروزرسانی سرعت ذره i ام استفاده می شود به جای ثابت اینرسی ثابت از رابطه متغیر برای آن استفاده گردد.

$$V_i^{k+1} = \omega V_i^k + c_1 r_1 (PB_i^k - X_i^k) + c_2 r_2 (GB_i^k - X_i^k) \quad (1)$$

به عبارت دیگر به جای متغیر ω از متغیر ω^k که نحوه محاسبه آن براساس دو ضریب سرعت تکامل هر کدام از ذرات (h) و ضریب درجه تجمیع اجتماع (s) تعیین می گردد. مرجع [17] ω را به صورت تابعی از این دو فاکتور طبق رابطه (2) برای هر تکرار تعریف می کند.

$$\omega_i^k = \omega_{ini} + \alpha(1 - h_i^k) + \beta s \quad (2)$$

که ω_{ini} مقدار اولیه ω بوده و در این مقاله برابر با یک در نظر گرفته شده است. از آنجاییکه $0 \leq s \leq 1$ و $0 \leq h \leq 1$ است می توان نوشت:

$$1 - \alpha \leq \omega \leq 1 + \beta$$

طبق مرجع [17] مقادیر α و β در بازه [0-1] انتخاب می شود.



می‌گردد که مقادیر موثر ولتاژ سه فاز با یکدیگر متفاوت بوده و یا اختلاف فاز زاویه 120 درجه بین فازها وجود نداشته باشد. از دیدگاه معیارهای کیفیت توان، نامتعادلی ولتاژ براساس نسبت مولفه‌های منفی و یا صفر به مولفه مثبت ولتاژ تعریف می‌شود. برای سنجش میزان نامتعادلی ولتاژ، چندین تعریف وجود دارد که توسط استانداردهای IEEE و NEMA بیان شده است. در مراجع [14 و 15] تعدادی شاخص تعریف شده‌اند. آخرین ویرایش ارائه شده از سازمان IEEE با عنوان استاندارد با تعریف صحیح (1996) می‌باشد که در مرجع [2] و به صورت رابطه (7) تعریف شده است. این شاخص به طور مشابهی برای جریان نیز قابل محاسبه است.

$$VUI = \frac{\text{Negative sequence voltage}}{\text{Positive sequence voltage}} \times 100 \quad (7)$$

مطالعه شبکه نمونه

شبکه 24 شینه مورد مطالعه در شکل (3) نشان شده است. اطلاعات جغرافیایی این شبکه از بانک GIS شهرستان اردبیل استخراج شده و داده‌های بیلینگ مشتریان موجود بر روی این فیدر از سیستم جامع خدمات مشتریان جهت محاسبه انرژی متوسط مصرفی این مشتریان در طی یکسال گذشته استفاده شده است. روی این فیدر مشتریان با دو نوع تعرفه خانگی و سایر مصارف موجود می‌باشد که به ترتیب با اعمال ضریب بار 0.2 و 0.4 (مستخرج از پروژه مطالعه بار) پیک بار مشتریان محاسبه شده است. متناسب با مشتریان جمع کل بار روی فازهای R، S و T به ترتیب حدود 105، 91 و 81 کیلووات می‌باشد.

اطلاعات بار مشتریان در جدول (1-پ) بخش پیوست ارائه شده است. مطابق با استاندارد مقدار شاخص VUI نباید بیشتر از یک در صد باشد. بنابراین در صورتی که مقدار این شاخص در زمان بهینه سازی بیش از مقدار تعیین شده باشد عددی به عنوان جریمه به تابع هدف اضافه خواهد شد. ضمناً سیم نول در شین های 5، 12، 18 و 24 ارت شده است.

شکل های (4) و (5) به ترتیب پروفیل ولتاژ فاز و نول شبکه در حالت قبل از متعادل سازی فاز را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده برای تلفات شبکه

مشترک سوم به فاز 3 و مشترک چهارم به فاز 2 جابجا گردند. در مورد پایه 3 (کادر دوم از سمت چپ) نیز به همین منوال است که مشترک شماره یک به فاز 1 (بدون تغییر باشد چون فعلاً روی فاز R هستیم)، مشترک شماره دو به فاز 1، مشترک شماره سه به فاز 2 و مشترک شماره چهارم ندارد چون صفر است به عبارت دیگر پایه شماره 3 برخلاف پایه شماره 4 که چهار مشترک روی فاز R داشت این پایه سه مشترک روی فاز R دارد.

فرمول بندی مساله

تابع هدف

تابع هدف در این مساله بهینه سازی به صورت مجموع وزنی شاخص نسبت تلفات توان حاصل شده به تلفات توان شبکه اولیه (PLI) و نسبت تعداد جابجایی مشتریان به کل مشتریان (CSN) در نظر گرفته شده است.

$$\begin{aligned} \text{Min } Fcn &= (w1 \times PLI) + (w2 \times CSN) \\ PLI &= \frac{\text{power loss after optimization}}{\text{power loss before optimization}} \\ CSN &= \frac{\text{customer swapping number}}{\text{All customer}} \end{aligned} \quad (5)$$

متغیرهای $w1$ و $w2$ ضرائب وزنی می‌باشند. تلفات توان کل شبکه حاصل جمع تلفات توان سه فاز و سیم نول مطابق رابطه (6) خواهد بود.

$$\begin{aligned} \text{Min } P_{loss,t} &= \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=1}^3 Rp_{(i,i+1),k} \\ &\quad \times Ip_{(i,i+1),k}^2 + \\ &\quad \sum_{i=1}^{n-1} Rn_{(i,i+1)} \times In_{(i,i+1)}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

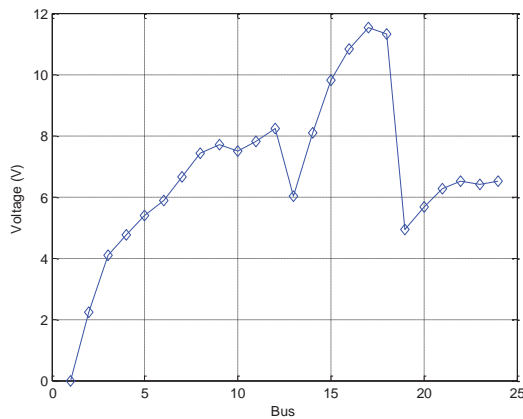
که n تعداد شین‌های شبکه، k تعداد فازهای شبکه، $Rp_{(i,i+1),k}$ مقاومت سیم فاز بین شین i و $i+1$ روی فاز k ، $Ip_{(i,i+1),k}$ عبوری از سیم فاز از شین i به شین $i+1$ روی فاز k می‌باشد. به همین ترتیب Rn و In نیز برای سیم نول تعریف می‌شوند.

شاخص نامتعادلی ولتاژ (VUI)

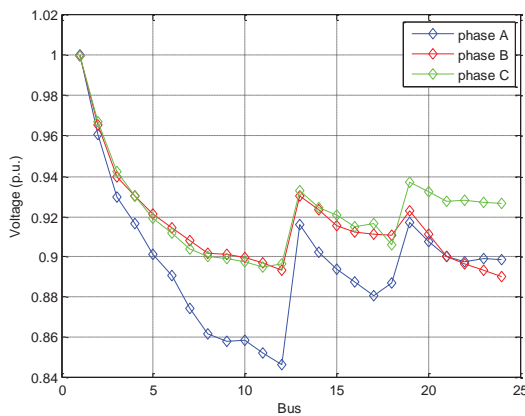
مطابق استاندارد صنعت برق ایران عدم تعادل ولتاژ به شرایطی اطلاق



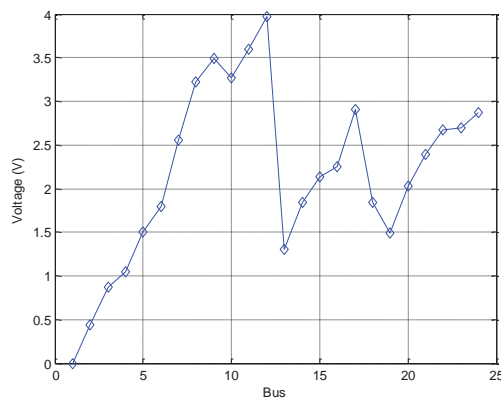
در صد محاسبه شده است. در ضمن بیشترین دامنه ولتاژ نول در شین 12 حدود 4 ولت بدست آمده است.



شکل 5- پروفیل ولتاژ نول قبل از متعادل سازی بار (ولت)



شکل 6- پروفیل ولتاژ فازها بعد از متعادل سازی بار (پریونیت)

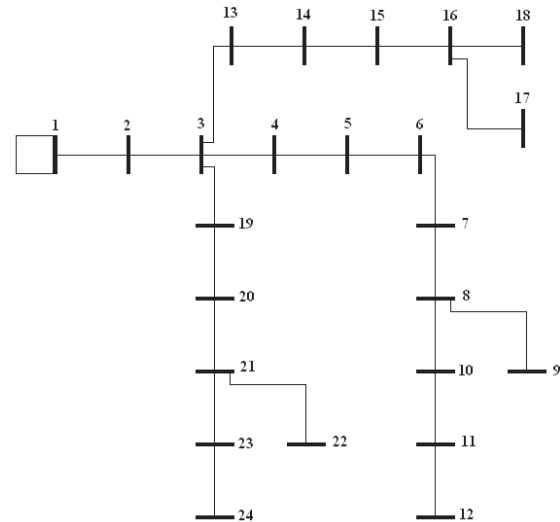


شکل 7- پروفیل ولتاژ نول بعد از متعادل سازی بار (ولت)

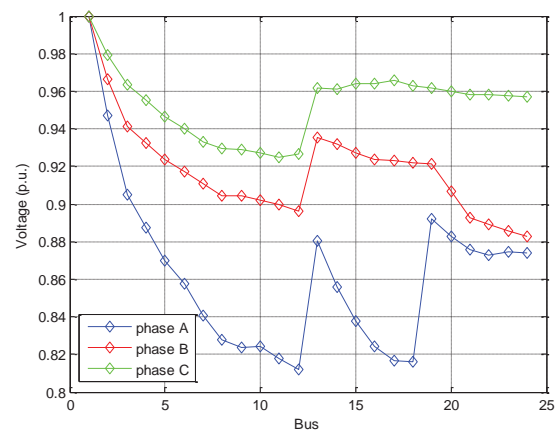
مقایسه حالت قبل و بعد از بهینه‌سازی مطابق جدول (1) نشان می‌دهد که

در تک تک فازها در جدول (1) ارائه شده است.

شاخص عدم تعادل ولتاژ و جریان به ترتیب حدود 2.16 و 13.2 درصد محاسبه شده است. در ضمن بیشترین دامنه ولتاژ نول در شین 18 حدود 11.7 ولت بدست آمده است.



شکل 3- شبکه 24 شینه مستخرج از بانک GIS اردبیل



شکل 4- پروفیل ولتاژ فازها قبل از متعادل سازی بار (پریونیت)

شکل های (6) و (7) به ترتیب پروفیل ولتاژ فاز و نول شبکه در حالت بعد از متعادل سازی فاز را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل ها مشخص است که اختلاف ولتاژ بین فازها که در شکل (4) کاملاً مشهود است، بشدت کاهش یافته است، همچنین دامنه ولتاژ در سیم نول نیز کاهش چشمگیری داشته است.

مقدار شاخص عدم تعادل ولتاژ و جریان به ترتیب حدود 0.885 و 2.96



جمع کل توان مشترکین روی فازهای شبکه بعد از متعادل سازی فاز در مقایسه با حالت اول در جدول (3) ارائه شده است. مطابق با این جدول روشن است که کل توان مشترکین در فازهای شبکه نسبت به حالت اول بدون لحاظ نمودن تلفات توان بسیار متعادل شده است.

جدول 3- کل توان مشترکین در فازهای شبکه قبل و بعد از بهینه سازی

کل توان بعد (کیلووات)	کل توان قبل (کیلووات)	فاز
94.3	105.4	R
91.1	90.9	S
91.95	81	T
277.3	277.3	کل

نتیجه گیری

در شبکه‌های توزیع که دارای بارهای متنوع صنعتی، خانگی و تجاری می‌باشد و سهم عمده‌ای را بارهای تکفاز تشکیل می‌دهند، رسیدن به حالت تعادل بسیار مشکل و حتی غیرممکن است. با آماری که از پستها و شبکه توزیع واقعی تهیه شده وضعیت تعادل بار مأموس‌کننده است و این مشخصه نشان‌دهنده عدم رعایت اصول فنی از طرف پرسنل توزیع و بعضاً سهل‌انگاری و عدم وجود دانش فنی در ایجاد شبکه‌های برق رسانی برای مصرف‌کننده‌ها می‌باشد. این مقاله یک روش قدرتمند و جامع را برای مساله متعادل سازی فاز شبکه توزیع ارائه می‌دهد.

با بکارگیری برنامه تهیه شده برای حل این مساله می‌توان در طول فصول که با تغییرات الگوی مصرف همراه خواهد بود نسبت به تهیه لیستی از مشترکین جهت جابجایی بین فازهای شبکه اقدام نمود. هدف از بهینه‌سازی، کمینه کردن تلفات شبکه و بهبود شاخص عدم تعادل ولتاژ VUI است. الگوریتم DAPSO یک روش ساده، قدرتمند، و با همگرایی سریع می‌باشد که در هر بار اجرا تقریباً به جواب بهینه دست می‌یابد. همانطور که از نتایج بدست آمده برای شبکه مورد مطالعه مشخص است این الگوریتم در یک مورد مطالعاتی توانسته تلفات توان را حدود 10 درصد و شاخص VUI را حدود 60 درصد بهبود بخشد.

یکی دیگر از نقاط برجسته فرمول بندی ارائه شده در این مقاله محدود نمودن تعداد مشترکین مورد نیاز به جابجایی بین فازها جهت دستیابی به

مجموع کل تلفات از 29.78 کیلووات به 27.1

کیلووات (حدود 9 درصد) بهبود یافته و نهایتاً شاخص نامتعادلی ولتاژ از 2.16 درصد به 0.885 درصد (بهبود حدود 59 درصد) و شاخص نامتعادلی جریان از 13.2 درصد به 2.96 درصد (بهبود حدود 78 درصد) بهبود یافته است. مطابق با این جدول واضح است که تلفات توان در سیم نول بعد از متعادل سازی فاز نسبت به حالت اولیه از 1.42 کیلووات به 0.26 کیلووات (بهبود حدود 82 درصد) کاهش یافته است که این امر بیانگر کاهش چشمگیر جریان عبوری از سیم نول بعد از متعادل سازی فاز نسبت به حالت اولیه می‌باشد.

جدول 1- تلفات توان قبل و بعد از بهینه سازی

تلفات بعد (کیلووات)	تلفات قبل (کیلووات)	فاز
10.28	14.1	R
8.52	8.52	S
8.03	5.74	T
0.26	1.42	سیم نول
27.1	29.78	کل

لازم بذکر است که این مقدار بهبود در تلفات توان و شاخص عدم تعادل ولتاژ و جریان تنها با جابجایی 6 مشترک از بین 315 مشترک قابل دستیابی است. مشترکینی که برای متعادل سازی شبکه بایستی بین فازها جابجا شوند در جدول (2) لیست شده اند.

جدول 2- لیست مشترکین جهت جابجایی (تغییر فاز)

ردیف	از	به	بار (کیلووات)
1	فاز R شین 4	فاز T شین 4	2.3
2	فاز R شین 6	فاز T شین 6	1.5
3	فاز R شین 15	فاز S شین 15	2.25
4	فاز R شین 18	فاز T شین 18	2.1
5	فاز R شین 18	فاز T شین 18	3
6	فاز S شین 21	فاز T شین 21	2.1



تعداد فاز می باشد.

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق 1388 (09-F-PDS-0172)

[19] علی رامین فرد و سید محمد شهرتاش "روشی کاربردی در متعادل سازی بار

شبکه های فشار ضعیف توزیع مطالعه موردی - شبکه برق تبریز" بیست و

چهارمین کنفرانس بین المللی برق 1388 (09-F-PDS-0190)

[20] لعی زاهدی، مهدی صلاهی نادری و گئورگ قره پتیان "ارائه یک روش

جدید جهت کاهش عدم تعادل بار در شبکه های توزیع مسکونی و تجاری"

نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق 1387 (98-F-LEM-405)

منابع

- [1] Wanga K., Skiena S., Robertazzi T. G., "Phase Balancing Algorithms," *Electric Power Systems Research* 96 (2013) 218-224.
- [2] Tavakoli Bina M., Kashefi A., "Three-phase Unbalance of Distribution Systems: Complementary Analysis and Experimental Case Study," *Electrical Power and Energy Systems* 33 (2011) 817-826.
- [3] Zhu J, Chow MY, Zhang F. "Phase Balancing Using Mixed Integer-Programming," *IEEE Trans. on Power Syst.*, 1998; Vol. 13 No. 2, pp. 1487-92.
- [4] A. B. Knolseisen, J. Coelho, S. F. Mayerle, F. J. S. Pimentel, R. H. Guembarovski, "A Model for the Improvement of Load Balancing in Secondary Networks", *IEEE Bologna PowerTech Conference, BPTC*, 2003; Vol. 3.
- [5] M. W. Siti, A. A. Jimoh, D. V. Nicolae, "Phase Load Balancing in the Secondary Distribution Network Using Fuzzy Logic," *IEEE Conference, AFRCON*, 2007; pp. 1-7
- [6] Lin CH, Chen CS, Chuang HJ. "An Expert System for Three-Phase Balancing of Distribution Feeders," *IEEE Transactions on Power System*, 2008; Vol. 23 No. 3, pp. 1488-96
- [7] Huang MY, Chen CS, Lin CH, Kang MS, Chuang HJ, Huang CW. "Three-phase Balancing of Distribution Feeders Using Immune Algorithm," *IET Gen. Trans. Dist.*, 2008; Vol. 2, No. 3, pp. 383-92.
- [8] Lin CH, Chen CS, Chuang HJ, Ho CY. "Heuristic Rule-Based Phase Balancing of Distribution Systems by Considering Customer Load Patterns," *IEEE Transactions on Power System*, 2005; Vol. 20, No. 2, pp. 709-16
- [9] Zhu J, Bilbro G, Chow MY. "Phase Balancing Using Simulated Annealing," *IEEE Trans. on Power Syst.*, 1999; Vol. 4 No. 4, pp. 1508-13.
- [10] G. Mahendran, M. Sathiskumar, S. Thiruvankadam and L. Lakshminarasimman, "Multi-objective Unbalanced Distribution Network Reconfiguration through Hybrid Heuristic Algorithm," *J. Electr.. Eng Technol.*, 2013; Vol. 8, No. 2, pp. 215-222.
- [11] Luis F. Ochoa, Rade M. Ciric, A. Padilha-Feltrin, Gareth P. Harrison, "Evaluation of Distribution System Losses Due to Load Unbalance," *15th Conference PSCC, Leige Aug. 2005*; pp. 1-6.
- [12] Mauricio Granada Echeverri, Ramon A. Gallego Rendon and Jesus Maria Lopez Lezama, "Optimal Phase Balancing Planning for Loss Reduction in Distribution Systems using a Specialized Genetic Algorithm," *Colombia EAFIT Eng. University Ciencia*, 2012; Vol. 8, No. 15, pp. 121-140.
- [13] N. Gupta, A. Swarnkar, KR. Niazi. "A Novel Strategy for Phase Balancing in Three-Phase Four-Wire Distribution Systems," *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2011; San Diego (CA), pp. 1-7.
- [14] IEC 61000-2-2: "Electromagnetic compatibility (EMC) Part 2-2: Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signaling in public low-voltage power supply systems", 2002-03.
- [15] Asheesh K. Singh, G. K. Singh, and R. Mitra, "Some Observations on Definitions of Voltage Unbalance", *39th North American Power Symposium, NAPS 2007*, pp. 473-479.
- [16] Rade M. Ciric, Antonio Padilha Feltrin, and Luis F. Ochoa, "Power Flow in Four-Wire Distribution Networks—General Approach," *IEEE Trans. on Power Syst.*, Vol. 18, No. 4, Nov. 2003
- [17] Xueming Yang, Jinsha Yuan, Jiangye Yuan, Huina Mao, "A Modified Particle Swarm Optimizer with Dynamic Adaptation," *Applied Mathematics and Computation* 189 (2007) 1205-1213
- [18] علی عارفی، محمودرضا حقی فام، اکبری اورطلب، غلامرضا صفاریپور، مهرداد مستقی می، جواد علمای، احمدعلی بهمن پور، کاظم بخشسی و آمنه علی پور "متعادل سازی بار فازها در شبکه فشار ضعیف نیروی برق با اطلاعات محدود"



پیوست

جدول 1-پ- اطلاعات بار مشترکین روی فازها و شین های مختلف شبکه

مشترکین فاز T (کیلووات)						مشترکین فاز S (کیلووات)						مشترکین فاز R (کیلووات)						شماره شین			
0	0	0	0	0	2400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	350	700	800	950	300	400	0	0	0	1900	1400	300	350	0	0	0	0	0	1500	750	2
0	1100	350	800	1000	2200	600	0	0	1400	1200	200	400	400	0	0	150	650	450	1100	600	3
0	0	1000	1100	300	450	600	0	0	1500	450	850	950	600	0	500	300	600	700	400	2300	4
0	0	0	1000	550	900	500	0	0	0	700	400	750	300	0	0	0	550	450	1800	900	5
0	0	200	750	2700	600	800	0	0	1000	700	2800	1400	400	0	0	1050	500	1050	1500	650	6
0	0	0	400	2600	400	300	0	0	0	0	0	200	400	0	0	650	350	950	450	750	7
0	0	0	0	0	0	1700	0	0	0	200	1700	2600	600	0	0	350	800	1650	800	2500	8
0	0	0	1300	1000	500	200	0	0	0	0	0	1800	500	0	200	500	700	1000	1600	1000	9
0	0	400	700	600	750	1400	0	0	500	350	650	700	1300	0	0	0	0	0	0	1400	10
0	700	1700	1200	600	500	1400	0	550	800	400	800	200	200	0	450	550	600	850	1250	1200	11
0	0	0	0	0	0	1100	500	200	1050	700	400	550	650	0	1100	900	500	600	1500	700	12
0	600	400	700	900	600	1800	0	0	0	1100	2300	650	2100	0	800	450	750	250	550	2300	13
0	0	1100	1400	800	700	2600	0	0	0	400	300	500	600	650	350	400	1000	350	1100	2100	14
0	0	0	0	0	0	1900	0	200	550	900	2100	800	900	0	450	650	700	2750	2250	1200	15
0	0	0	350	300	1100	600	600	400	750	700	300	800	250	0	0	0	0	1050	950	1550	16
0	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0	0	1200	900	0	300	700	450	2100	650	1550	17
0	900	250	200	400	1100	1600	0	650	600	1100	850	300	900	600	550	450	1000	3000	950	2100	18
0	0	700	400	950	1100	1200	200	200	400	2350	700	900	2100	0	0	600	700	1500	1700	1300	19
0	0	400	600	300	250	1400	0	0	0	0	0	1700	1300	0	800	400	600	400	1500	1000	20
0	0	600	400	300	250	1900	0	700	0	400	2100	700	800	400	400	700	500	900	800	1400	21
0	0	0	550	450	650	300	0	0	500	1000	450	1500	900	0	0	800	1050	700	550	850	22
0	0	0	400	1300	600	600	0	0	400	650	1200	1400	2500	0	0	0	0	0	0	2700	23
0	0	0	0	0	500	900	0	0	0	550	900	1500	350	0	0	0	0	300	700	900	24