



تخمین حالت سه فاز نامتعادل با استفاده از بهینه سازی جستجوی هارمونی

علی اصغر قدیمی

دکترای برق قدرت – استادیار دانشگاه اراک

aa.ghadimi@gmail.com

سیدابراهیم نوربخش

کارشناس ارشد برق قدرت – موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی پیام گلپایگان

seedebrahimnoorbakhsh@gmail.com

سیدمهدي هاشمي

عضو هیأت علمی موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی پیام گلپایگان

Smhashemi505@gmail.com

چکیده

در این مقاله تخمین حالت سه فاز شبکه توزیع نامتعادل در شرایطی انجام می شود که متغیرهای حالت اندازه و زاویه ولتاژ شینها می باشد. همچنین با توجه به وجود تپ چنجرهای زیربار وضعیت تپ ترانس نیز از دیگر متغیرهای حالت در شبکه توزیع می باشد. به علاوه وجود خازن در شبکه توزیع و تخمین مقدار آن باعث متفاوت شدن این پروژه در مقایسه با سایر کارهای انجام شده است. برآورد این متغیرها در تخمین حالت بسیار بحث برانگیز است. راه حل مسئله تخمین حالت سیستم توزیع، بعنوان حداقل رساندن تابع هدف می باشد. روش پیشنهادی بهینه سازی با الگوریتم جستجوی هارمونی سرج و شبیه سازی با استفاده از روش WLS در محیط مطلب می باشد. این روش در مدل شبکه نامتعادل ۱۳ با سه استاندارد IEEE تست شده است. الگوریتم پیشنهادی با دقت و خطای کم، سرعت جواب دهنده قابل قبول، اندازه و زاویه ولتاژ، درجه تپ ترانسفورماتور و مقدار خازن را تخمین زده است و یک برآورد دقیق از تلفات در شبکه فراهم می کند.

واژگان کلیدی: تخمین حالت سیستم های توزیع، جستجوی هارمونی سرج، تخمین خازن، شبکه توزیع نامتعادل



$$\min J(x) = \sum_{i=1}^m w_{ii} r_i^2 \quad (1)$$

x متغیرهای حالت شبکه توزیع است که باید تخمین زده شوند و عبارتند از اندازه و زاویه ولتاژ باسها، تپ ترانسها و خازن‌های موجود در شبکه؛

m تعداد اندازه‌گیریها؛

w_{ii} ضریب وزنی متغیر اندازه‌گیری شده آم

r_i مقدار اندازه‌گیری شده آم

هدف از این تابع، بدست آوردن اندازه ولتاژ باس، زوایا و موقعیت‌های تپ می‌باشد که مربع وزنی تفاوت بین مقدار اندازه‌گیری شده و کمیت تخمین حالت را به حداقل می‌رساند.

(2)

$$P_i^k = V_i^k \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^n V_j^l [G_{ij}^{k,l} \cos(\delta_i^k - \delta_j^l) + B_{ij}^{k,l} \sin(\delta_i^k - \delta_j^l)] \quad (3)$$

$$Q_i^k = V_i^k \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^n V_j^l [G_{ij}^{k,l} \sin(\delta_i^k - \delta_j^l) - B_{ij}^{k,l} \cos(\delta_i^k - \delta_j^l)]$$

که **G + jB** ماتریس ادمیتانس سیستم است، **n** تعداد باس‌های سیستم و **l** تعداد فازهای سیستم است که می‌تواند ۱، ۲ یا سه فاز باشد. توان عبوری از باس‌های **i** به در فاز **k** می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$P_{ij}^k = V_i^k \sum_{l=1}^n V_j^l [G_{ij}^{k,l} \cos(\delta_i^k - \delta_j^l) + B_{ij}^{k,l} \sin(\delta_i^k - \delta_j^l)] - V_i^k \sum_{l=1}^n V_j^l [G_{ij}^{k,l} \cos(\delta_i^k - \delta_j^l) + B_{ij}^{k,l} \sin(\delta_i^k - \delta_j^l)] \quad (4)$$

$$Q_{ij}^k = -V_i^k \sum_{l=1}^n V_j^l [G_{ij}^{k,l} \sin(\delta_i^k - \delta_j^l) - B_{ij}^{k,l} \cos(\delta_i^k - \delta_j^l)] - V_i^k \sum_{l=1}^n V_j^l [G_{ij}^{k,l} \sin(\delta_i^k - \delta_j^l) - B_{ij}^{k,l} \cos(\delta_i^k - \delta_j^l)] \quad (5)$$

که:

توان اکتیو تزریقی در فاز **k** باس **i** **P_i^k**

مقدمه

تکنیک تخمین حالت در بخش تولید و سطوح خطوط انتقال بیش از سی سال است که پیشرفته شده و به کار گرفته می‌شود. اما در شبکه‌های توزیع استفاده از این تکنیک چندان با اهمیت نبوده است. ولی امروزه با توجه به اهمیت وجود تعادل و تقارن در شبکه‌های توزیع و همچنین کنترل پذیری و افزایش اتوماسیون سیستم‌های توزیع از تکنیک تخمین حالت را امری ضروری و مهم کرده است. در سیستم توزیع همیشه همه مقدادر قابل اندازه‌گیری شین‌ها و خطوط از جمله ولتاژ و زاویه شین‌ها، جریان و توان و ... در دسترس نمی‌باشند، که این بدلیل قابل دسترس نبودن همه خطوط، خرابی بعضی از دستگاه‌ها، در اختیار نداشتن یا گران بودن وسایل و یا خراب بودن دستگاه‌های اندازه‌گیری می‌باشد و در بعضی از مواقع حتی باعث خطا در اندازه‌گیری می‌شود. نهایتاً این دلایل امکان استفاده از تکنیک تخمین حالت (SE) را در سیستم‌های توزیع به نحوی ضروری کرده است. تخمین حالت معمولاً به عنوان یک مسئله حداقل مربعات وزن دار فرموله می‌شود.

در یک شبکه توزیع مدرن (DMS)، تخمین حالت نقشی اساسی را در تخمین زدن حالات سیستم ایفا می‌کند، چرا که به دلیل وسایل اندازه‌گیری محدود، نمی‌شود مقدادر کمیت‌ها را به درستی اندازه گرفت و در این سیستم‌ها تخمین حالت نقش اساسی ایفا می‌کند.

در شبکه‌های توزیع فاقد سیستم اتوماسیون مانند شبکه‌های توزیع ایران، هیچ‌گونه وسایلی برای اندازه‌گیری مقدادر سیستم توزیع وجود ندارد. در شبکه‌هایی که دارای فن آوری اتوماسیون توزیع می‌باشند از ¹ PMU و RTU Nanchian et al, 2016 برای مونیتور کردن شبکه استفاده می‌شود (.

مسئله تخمین حالت شبکه توزیع در قالب مینیمم کردن یک تابع هدف با رعایت چند قید تساوی و نامساوی فرمول بندی شده است:

¹ Remote Terminal Unit

² Phasor Measurement Units



در مراجع (۱-۲) راهکار حداقل کردن تجهیزات اندازه گیری اضافی برای بهبودی دقت تخمین حالت سیستم توزیع در چارچوب WLS (حداقل مربعات) را پیشنهاد داده است. زیرا که ماهیت شعاعی شبکه های توزیع، خطای زیادی در تنظیم جریان فیدر بعنوان متغیرها تعیین می کند.

در (۴) برای محاسبه بارها، الگوریتم سریع ارائه می کند که با این رویکرد که پیچیدگی شبکه را با اندازه گیری های فیزیکی در تخمین چند بار متصل به شبکه کاهش داده است، در هیچکدام از تحقیقات قبلی، در حالت تغییر بار، موقعیت تپ ترانسفورماتور توزیع تخمین زده نشده است. این فقدان تخمین تپ ترانس به عنوان متغیر حالت از تحقیقات قبلی ما را تشویق می کند برای توسعه یک الگوریتم SE سه فاز، از جمله تپ به عنوان متغیر گستته که برای بدست آوردن موقعیت دقیق تپ است و توسط روش WLS معمولی امکان پذیر نیست.

در (۵) تخمینگر حالت خطی را برای سیستم توزیع نامتعادل سه فاز ارائه نمودند. در این روش فرض شده است که واحد اندازه گیری فازور (PMU) و سایر اندازه گیری های بار هوشمند در دسترس هستند و از آنجایی که اندازه گیری های هوشمند اطلاعات توان اکتیو و راکتیو مصرفی بارهای شبکه را در فواصل زمانی ۵، ۱۵ و ۶۰ دقیقه یکبار اندازه گیری کرده و ارسال می کنند، تخمین حالت زمان واقعی (Real Time) ممکن نیست.

در مرجع (۶) متغیرهای حالت، اندازه و زاویه ولتاژ، درجه تپ ترانسفورماتور با استفاده از الگوریتم HPSO (ازدحام ذرات بهینه شده) و PSO (ازدحام ذرات) تخمین زده شده است.

در مراجع (۷-۱۰) درجات مختلف تخمین حالت در بارهای نامتعادل شبکه و پارامترها و توابع عدم قطعیت و خطاهای تخمین با دقت بیشتر را در تخمین حالت سیستم توزیع نشان می دهد. توزیع متغیر صفر به قیودها در نقاطی که فاقد تجهیزات اندازه گیری هستند.

در (۱۱) در مقاله خود روشی جهت یافتن مکان و تعداد نقاط بهینه برای اندازه گیری ارائه نمود. این روش برای

$$Q_i^k$$
 توان راکتیو توزیعی در فاز k باس i

$$P_{ij}^k$$
 توان اکتیو عبوری از باس i به باس j در فاز k

$$Q_{ij}^k$$
 توان راکتیو عبوری از باس i به باس j در فاز k

$$V_i^l$$
 اندازه ولتاژ باس i در فاز l

$$\delta_i^l$$
 زاویه ولتاژ باس i در فاز l

لازم به توضیح است که قیود تساوی، مجموعه ای از معادلات مربوط به اندازه گیری های واقعی می باشد.

(۶)

$$0 = P_{ci}^k - P_{di}^k - \sum_{j=1}^n V_i^k V_j^l [G_{ij}^{k,l} \cos(\delta_i^k - \delta_j^l) + B_{ij}^{k,l} \sin(\delta_i^k - \delta_j^l)]$$

(۷)

$$0 = Q_{ci}^k - Q_{di}^k - \sum_{j=1}^n V_i^k V_j^l [G_{ij}^{k,l} \sin(\delta_i^k - \delta_j^l) - B_{ij}^{k,l} \cos(\delta_i^k - \delta_j^l)]$$

قیود نامساوی، شامل محدودیت های پیوسته و متغیرهای گستته هستند که محدوده های امنیتی و عملیاتی سیستم را نشان می دهد، مثل محدوده های بالا و پایین تنظیمی برای متغیرهای کنترل. برخی از این قیود نامساوی عبارتند از:

$$V_{min, i}^k \leq V_i^k \leq V_{max, i}^k$$

(۸)

که V_i^k و $V_{max, i}^k$ به ترتیب حداقل اندازه مجاز، حداکثر اندازه مجاز و اندازه ولتاژ فاز k در باس i است.

$$\delta_{min, i}^k \leq \delta_i^k \leq \delta_{max, i}^k$$

(۹)

که δ_i^k و $\delta_{max, i}^k$ به ترتیب حداقل زاویه مجاز، حداکثر زاویه مجاز و زاویه ولتاژ فاز k در باس i است.

$$t_{min, i}^k \leq t_i^k \leq t_{max, i}^k$$

(۱۰)

که t_i^k و $t_{max, i}^k$ به ترتیب حداقل تپ مجاز، حداکثر تپ مجاز و تپ ترانسفورماتور موجود در باس i و در فاز k است.



بار شبکه از روش نیوتن رافسون محاسبه گردیده و سوئیچ بین بس ۹ و ۱۰ بسته فرض شده است. همچنین مقدار بارها در زمان غیرواقعی است و تغییری نمی کند. با جایابی بهینه خازن، خازن ها در فاز b بس ۷ و فاز c بس ۸ قرار گرفته است.

روش تحقیق

در چهار دهه گذشته الگوریتم های زیادی برای حل کردن مسائل بهینه سازی مهندسی ارائه شده اند که بیشتر آن ها بر اساس روش های برنامه ریزی عددی خطی و غیرخطی هستند.

الگوریتم های بهینه سازی عددی در یافتن جواب بهینه سراسری در مدل های ساده و ایده آل مفیدند. اما در مواجهه با مسائل بهینه سازی واقعی و پیچیده محدودیت هایی داشته و کارایی لازم را ندارند. مشکلات محاسباتی موجود در مسائل بهینه سازی مهندسی،^۱ محققین را قادر به استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری^۲ مبتنی بر شبکه های سازی جهت حل مسائل بهینه سازی نمود.

مقداردهی اولیه مسئله و پارامترهای الگوریتم

هدف از این مرحله فرموله کردن مسئله است. بطور کلی می توان مسائل بهینه سازی را به صورت ریاضی و به صورت تابع هدف و توابع قیود در نظر گرفت. پارامترهای الگوریتم نیز در این گام تعیین می شوند. اندازه حافظه هارمونی^۳ (تعداد بردارهای جواب در حافظه هارمونی)، احتمال انتخاب هارمونی از حافظه، احتمال تنظیم گام و شرط خاتمه^۴ پارامترهای الگوریتم هستند.

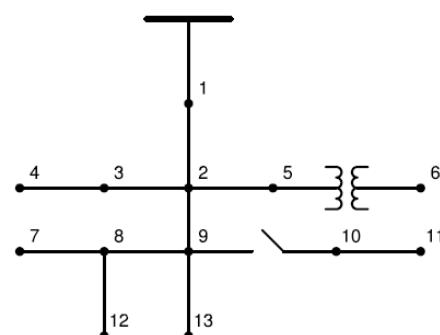
مقداردهی اولیه حافظه هارمونی

در این قسمت ماتریس هارمونی با تعدادی هارمونی که به صورت تصادفی مقداردهی شده اند پر می شوند.

$$HM = \begin{bmatrix} x^1 \\ x^2 \\ \vdots \\ x^{HMS} \end{bmatrix} \quad (11)$$

قراردادن میتر جهت بهبود کیفیت تخمین ولتاژ و زاویه در سراسر شبکه می باشد. روش پیشنهادی براساس بهبود متوالی از شاخص احتمال دو متغیره خطاهای نسبی در ولتاژ و زاویه در هر بس است. مشکل قراردادن میتر با تبدیل آن به یک احتمال ساده شده با کمک چیزی نابرابری روش راه حل ساده با در نظر گرفتن خطای بیضی، مزایای روش پیشنهادی توسط شبیه سازی مونت کارلو در مدل ۹۵ بس ارائه گردید.

در تحقیقی، الگوریتم سیستم قدرت مجهز به ادوات SVC و TCSC با استفاده از واحد های اندازه گیری فازوری و روش تخمین حداقل مربعات خطا (WLS) ارائه گردید. در این الگوریتم، متغیر های حالت ادوات عضو خانواده ادوات FACTS به همراه سایر متغیر های حالت شبکه قدرت شامل اندازه و زاویه ولتاژ شین ها، تخمین زده می شوند. پیاده سازی موردی این روش بر روی شبکه نمونه ۳۰ شینه انجام شده و نتایج به دست آمده در مقایسه با نتایج پخش بار، صحت و قابلیت الگوریتم پیشنهادی را در مسایل کاربردی نشان می دهد.



شکل ۱- مدار ۱۳ باسه IEEE

در این مقاله فرض بر این است که تجهیزات اندازه گیری در شین های انتهایی فیدر قرار دارد و در واقع شین های انتهایی فیدر معلوم و بقیه شین ها مجھول می باشند که با تخمین حالت، اندازه و زاویه ولتاژ بدست می آید. یافتن مکان و تعداد نقاط بهینه جهت اندازه گیری در تحقیق راویندرا سینگ (۲۰۰۹)^۵ اشاره شده است.

در مقاله حاضر، مبنای بر این است که فقط ده بس از ۱۳ بس شبکه مشاهده پذیر هستند. لذا شین ۱، ۵ و ۱۰ مشاهده پذیر نبوده، لذا در پخش بار حذف شده اند و شین ۲ بعنوان شین slack در نظر گرفته شده و پخش

¹ Metaheuristic

² Harmony memory size (HMS)

³ Termination criterion



به طور مشابه در بهینه‌یابی مهندسی در تعیین یک مقدار جدید برای یک متغیر، یکی از سه تصمیم زیر اتخاذ می-شود:

- (۱) مقدار متغیر یکی از مقادیر موجود در حافظه هارمونی برای آن متغیر در نظر گرفته می‌شود؛
 - (۲) مقدار متغیر یک مقدار نزدیک به یکی از مقادیر موجود برای آن متغیر در حافظه هارمونی در نظر گرفته می‌شود؛
 - (۳) مقدار متغیر یک مقدار تصادفی از مقادیر ممکن برای آن متغیر در نظر گرفته می‌شود.
- این سه قانون در الگوریتم جستجوی هارمونی توسط دو پارامتر نرخ انتخاب از حافظه هارمونی^۱ و نرخ تنظیم کوک^۲ کنترل می‌شوند. گام‌های الگوریتم جستجوی هارمونی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:
- گام اول) فرمول‌بندی مسئله و تعریف پارامترهای الگوریتم: مسئله‌ی بهینه‌سازی به صورت زیر بیان می-شود:
- $$(12)$$

$$\text{Minimize } f(x) \text{ subject to: } x_i \in X_i, i = 1, 2, \dots, N$$

که $f(x)$ تابع هدف، x بردار متغیرهای مسئله (که اعضای آن x_i ها هستند)، X_i مجموعه‌ی مقادیر ممکن برای متغیر x_i و N نیز تعداد متغیرهای مسئله است. پارامترهای الگوریتم جستجوی هارمونی نیز که در این مرحله تعیین می‌شوند، عبارتند از: اندازه‌ی حافظه هارمونی^۳، نرخ انتخاب از حافظه هارمونی، نرخ تنظیم کوک، عرض نوار تنظیم کوک و معیار توقف یا حداقل تعداد جستجوها. نرخ انتخاب از حافظه هارمونی و نرخ تنظیم کوک مقداری بین صفر و یک است.

گام دوم) تشکیل حافظه هارمونی (HM): در این گام، ماتریس حافظه هارمونی با انتخاب تصادفی متغیرها در هر بردار پاسخ تشکیل می‌شود. پس از تشکیل اولیه‌ی حافظه هارمونی بردارهای پاسخ بر اساس مقدار تابع

هر هارمونی، در ماتریس به ترتیب غیر نزولی و بر اساس مقدار تابع هدف مرتب می‌شوند. ماتریس هارمونی محلی است که قرار است بهترین هارمونی‌ها در آن باقی بمانند.

ایجاد یک هارمونی جدید
یک بردار هارمونی جدید مانند $(x'_1, x'_2, \dots, x'_N)$ بر اساس سه قاعده استفاده از حافظه هارمونی، تنظیم گام و یا انتخاب مقادیر تصادفی که در فصل قبل توضیح داده شده‌اند، ایجاد می‌شود.

به روزرسانی حافظه هارمونی

اگر بردار هارمونی جدید تابع هدف بهتری نسبت به هارمونی ذخیره شده در حافظه داشته باشد مقدار جدید هارمونی در حافظه هارمونی وارد شده و هارمونی بدتر از آن خارج خواهد شد.

برقراری شرط خاتمه

الگوریتم وقتی پایان می‌یابد که شرط خاتمه (به عنوان مثال حداقل تعداد بهمود) برقرار باشد. در غیر این صورت گام‌های سوم و چهارم تکرار می‌یابند.

یافته‌ها

در این بخش، روش تخمین حالت مبتنی بر الگوریتم جستجوی هارمونی در محیط نرم افزار MATLAB پیاده سازی شده و در مورد دو شبکه توزیع ۱۳ نامتعادل توزیع به کار برده شده است.

الگوریتم‌های فرالبتکاری بهینه‌یابی از پدیده‌های طبیعی تقلید می‌کنند. الگوریتم فرالبتکاری جستجوی هارمونی نیز از فرآیند طبیعی اجرای موسیقی برگرفته شده است (Lee et al, 2005).

وقتی آهنگ‌ساز یک دستگاه را با یک گام معین می‌نوازد، معمولاً در نواخت بعدی سه حالت ممکن برای آن دستگاه وجود دارد:

- دستگاه با گامی که در حافظه آهنگ‌ساز است نواخته شود؛
- دستگاه با گام مجاور با گام موجود در حافظه آهنگ-ساز نواخته شود؛
- دستگاه با گامی تصادفی از بین گام‌های موجود برای آن دستگاه نواخته شود.

¹ Harmony Memory Consideration Rate (HMCR)

² Pitch Adjustment Rate (PAR)

³ Harmony memory Size



که BW یک عرض نوار دلخواه برای متغیرهای پیوسته و $u(-1.+1)$ یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $[-1.+1]$ است. پارامترهای $HMCR$ و PAR که در الگوریتم به کار گرفته شده‌اند، به ترتیب به یافتن پاسخ‌های بهینه‌ی کلی و محلی کمک می‌کنند.

گام چهارم) به روز رسانی حافظه‌ی هارمونی در این گام اگر بردار پاسخ جدید که در گام قبلی به دست آمده، با توجه به مقدار تابع هدف به ازای این بردار از بدترین بردار موجود در حافظه‌ی هارمونی بهتر باشد، بردار پاسخ جدید در حافظه‌ی جایگزین بدترین بردار موجود در حافظه می‌شود. سپس بردارهای حافظه‌ی هارمونی دوباره بر اساس مقادیر تابع هدف مرتب می‌شوند.

گام پنجم) تکرار گام‌های سوم و چهارم تا برآورده شدن معیار توقف جستجو

در گام پنجم، گام‌های سوم و چهارم تا زمان برآورده شدن معیار توقف جستجو که معمولاً بر حسب حداکثر تعداد جستجوها تعریف می‌شوند.

در تحقیق مهدوی و همکاران (۱۳۸۵) نسخه نسخه بهبود یافته الگوریتم جستجوی هارمونی ارائه شده است. از آنجایی که دو پارامتر PAR و BW در همگایی الگوریتم جستجوی هارمونی نقش بسزایی ذارند، در هر تکرار الگوریتم، مقادیر آن‌ها به طور پویا به روزرسانی می‌شود:

$$PAR(t) = PAR_{min} + \frac{PAR_{max} - PAR_{min}}{NI} \times t \quad (16)$$

$$BW(t) = BW_{max} \times e^{\left(\frac{\ln(\frac{BW_{min}}{BW_{max}})}{NI} \times t \right)} \quad (17)$$

که:

NI : حداکثر تعداد تکرارهای الگوریتم جستجوی هارمونی
 t : تکرار شماره t ام

BW_{min} : حداقل باند متغیرها

BW_{max} : حداکثر باند متغیرها

PAR : حداقل PAR_{min}

PAR : حداکثر PAR_{max}

روش پیشنهادی در نرم افزار مطلب 2015a با پردازنده Intel Xeon با سرعت 2.4 Hz و رم ۲ گیگابایت اجرا شد. به منظور رسیدن به کمتر مقدار خروجی تابع هدف،

هدف به ازای این بردارها مرتب می‌شوند:

$$HM = \begin{bmatrix} x_1' \\ x_2' \\ \vdots \\ x_N' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1' & x_2' & \dots & x_N' \\ x_1' & x_2' & \dots & x_N' \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \quad (13)$$

گام سوم) تشکیل یک بردار پاسخ جدید

در این گام یک بردار پاسخ جدید مانند $x' = (x_1', x_2', \dots, x_N')$ بر اساس قوانین سه‌گانه‌ی الگوریتم شامل انتخاب از حافظه‌ی هارمونی، تنظیم کوک و انتخاب تصادفی تشکیل داده می‌شود. برای مثال مقدار متغیر اول در بردار پاسخ جدید، x_1' می‌تواند از مقادیر موجود برای این متغیر در حافظه‌ی هارمونی، $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}^{HMS}$ انتخاب شود.

پارامتر $HMCR$ نشان دهنده‌ی احتمال انتخاب مقدار یک متغیر در بردار پاسخ جدید، از مقادیر موجود در حافظه‌ی هارمونی برای آن متغیر است؛ $(1 - HMCR)$ نیز نشان‌دهنده‌ی احتمال انتخاب تصادفی مقدار یک متغیر از مجموعه‌ی مقادیر ممکن برای آن متغیر است، که محدود به حافظه‌ی هارمونی نیست، می‌باشد. مقدار $HMCR$ باید برابر واحد انتخاب شود، زیرا ممکن است مقداری از متغیر که منجر به جواب بهینه می‌شود، در حافظه‌ی هارمونی ذخیره نشده باشد. در ادامه هر یک از اعضای بردار پاسخ جدید $x' = (x_1', x_2', \dots, x_N')$ برای تعیین لزوم یا عدم لزوم تنظیم کوک مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این روند از پارامتر نرخ تنظیم کوک را نشان می‌دهد، استفاده می‌شود:

(14)

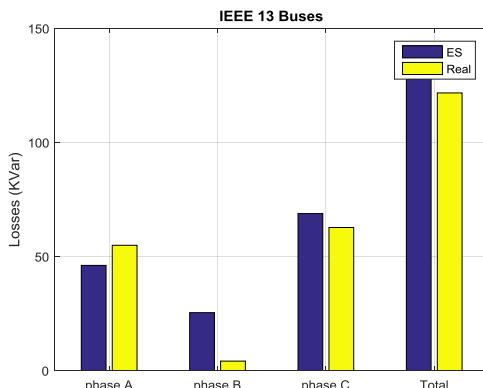
$pitch adjusting decision for x_i' \leftarrow \begin{cases} Yes & \text{with probability } PAR \\ No & \text{with probability } (1 - PAR) \end{cases}$

تنظیم کوک تنها برای اعضایی از بردار پاسخ جدید انجام می‌شود که از حافظه‌ی هارمونی انتخاب شده‌اند.

$(1 - PAR)$ نشان دهنده‌ی احتمال عدم تنظیم کوک است. اگر تصمیم تنظیم کوک برای متغیر x_i' برابر $X_i(k)$ یعنی k امین عضو مجموعه‌ی x_i باشد، مقدار این

متغیر پس از تنظیم کوک به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{cases} x_i' \leftarrow x_i' + \alpha \\ \alpha = BW \times u(-1.+1) \end{cases} \quad (15)$$



نمودار ۲- تخمین تلفات توان راکتیو

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله برای اولین بار، اندازه و زاویه ولتاژ، درجه و تپ ترانسفورماتور و مقدار خازن با الگوریتم جستجوی هارمونی سرچ با دقت بالایی تخمین زده شده است، مقایسه مقادیر تخمینی با مقادیر واقعی سیستم (پخش بار) که از پیش معلوم بود، مشخص کرد که درصد خطای بسیار کم است و همچنین مقدار بسیار پایین انحراف معیار متغیرها، موفقیت روش پیشنهادی را نشان می دهدند و در قیاس با الگوریتم PSO و HPSO، علاوه بر دقت بالاتر، از سرعت جوابدهی سریعتری نیز برخوردار می باشد، که نشان می دهد روش جستجوی هارمونی سرچ برای محاسبه دقیق و سریع مقادیر مختلف بسیار مفید است. تخمین حالت سیستم با استفاده از شبکه عصبی و تخمین بار سیستم توزیع با استفاده از الگوی مصرف مشترکین بعنوان پیشنهاد مطرح می گردد.

منابع

- [1] I. Roytelman and S. Shahidehpour, "State estimation for electric power distribution systems in quasi real-time conditions," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 8, pp. 2009-2015, 1993.
- [2] A. S. Meliopoulos and F. Zhang, "Multiphase power flow and state estimation for power distribution systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 11, pp. 939-946, 1996.
- [3] K. Li, "State estimation for power distribution system and measurement impacts," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 11, pp. 911-916, 1996.
- [4] Dzafic, D. Ablakovic, and S. Henselmeyer, "Real-time three-phase state estimation for radial

HMS که همان جمعیت است، ۲۰۰، با تکرار ۵۰۰ و نرخ تنظیم حافظه HMCR، ۰.۸۵ تنظیم شد. در اجرای ۱۰ بار برنامه، کمترین مقدار ۰/۴۸۱۷۳ و بیشترین مقدار ۰/۶۹۱۲ و میانگین ۰/۶۳۵ با انحراف معیار ۰/۷۵۲۴ بدست آمد، که بیانگر دقت و صحت روش پیشنهادی است. همچنین میانگین زمان اجرای برنامه ۵۴۸ ثانیه است که برای رسیدن به جواب، زمان خوبی می باشد.

جدول ۱- تخمین اندازه ولتاژ باسها

Bus	V_a (Real)	V_a (Estimated)	Error(%)	V_b (Real)	V_b (Estimated)	Error(%)	V_c (Real)	V_c (Estimated)	Error(%)
1	1	1	0	1	1	0	0.9681	0.9681	0
2	1.0210	0.9869	3.3377	1.0420	1.0378	0.4017	1.0174	1.0097	0.7596
3	1.0181	0.9766	4.0774	1.0401	1.0345	0.5399	1.0148	1.0050	0.9710
4	1	1	0	1.0328	1.0336	0.0718	1.0154	1.0128	0.2548
5	1	1	0	1.0311	1.0311	0	1.0134	1.0134	0
6	0.9945	0.9945	0	1	1	0	1	1	0
7	1.0021	1.0021	0	1.0479	1.0479	0	0.9718	0.9718	0
8	0.9964	0.9964	0	1.0495	1.0495	0	0.9708	0.9708	0
9	1.0021	1.0048	0.2695	1.0479	1.0477	0.0186	0.9718	0.9771	0.5448
10	1.0001	1.0001	0	1	1	0	0.9699	0.9699	0

جدول ۲- تخمین زاویه ولتاژ باسها

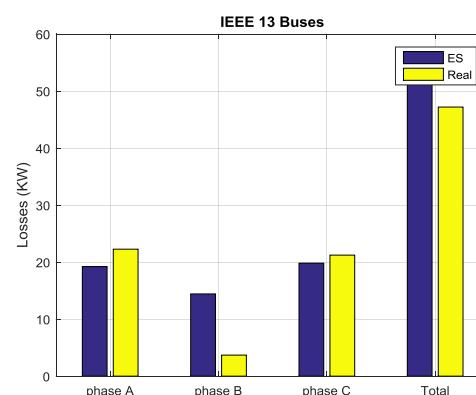
Bus	$\angle V_a$ (Real)	$\angle V_a$ (Estimated)	Error(%)	$\angle V_b$ (Real)	$\angle V_b$ (Estimated)	Error(%)	$\angle V_c$ (Real)	$\angle V_c$ (Estimated)	Error(%)
1	0	0	0	-120	-120	0	115.1266	115.1266	0
2	-2.4900	-2.3787	4.4691	-121.7200	-121.5265	0.1590	117.8300	117.9237	0.0795
3	-2.5550	-2.2877	10.4619	-121.7650	-121.5084	0.2107	117.8243	117.8547	0.0258
4	0	0	0	-121.8999	-121.8928	0.0058	117.8573	117.9450	0.0744
5	0	0	0	-121.9755	-121.9755	0	117.9026	117.9026	0
6	-5.1944	-5.1944	0	-120	-120	0	120	120	0
7	-5.2479	-5.2479	0	-122.0343	-122.0343	0	115.3880	115.3880	0
8	-5.4831	-5.4831	0	-122.1762	-122.1762	0	115.2882	115.2882	0
9	-5.2479	-5.0882	3.0429	-122.0343	-122.1025	0.0558	115.3880	115.5254	0.1190
10	-5.2689	-5.2689	0	-120	-120	0	115.2800	115.2800	0

جدول ۳- تخمین درجه تپ ترانسفورماتور

	Real Value	Estimated Value
T6-phase a	2	2
T6-phase b	2	2
T6-phase c	1	1

جدول ۴- تخمین مقدار خازن ها

Bus	Q_c (KVar) (Estimated)	Q_c (KVar) (Real)
16	81.4766	83
28	23.2079	23.9000



نمودار ۱- تخمین تلفات توان اکتیو



distribution networks," in *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2012, pp. 1-6.

[5] D. A. Haughton and G. Heydt, "A linear state estimation formulation for smart distribution systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 1187-1195, 2013.

[6] S. Nanchian, A. Majumdar, and B. C. Pal. 2015. "Three-Phase State Estimation Using Hybrid Particle Swarm Optimization." *IEEE transactions on smart grid*.

[7] C. Hansen and A. Debs, "Power system state estimation using three-phase models," *IEEE transactions on power systems*, vol. 10, pp. 818-824, 1995.

[8] A. Ranković, B. M. Maksimović, and A. T. Sarić, "A three-phase state estimation in active distribution networks," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 54, pp. 154-162, 2014.

[9] C. Muscas, S. Sulis, A. Angioni, F. Ponci, and A. Monti, "Impact of different uncertainty sources on a three-phase state estimator for distribution networks," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 63, pp. 2200-2209, 2014.

[10] P. P. Barbeiro, H. Teixeira, J. Krstulovic, J. Pereira, and F. Soares, "Exploiting autoencoders for three-phase state estimation in unbalanced distributions grids," *Electric Power Systems Research*, vol. 123, pp. 108-118, 2015.

[11] Ravidra, S. Bikash, C. Pal, Richard, B. Vinter. "Measurement Placement in Distribution System State Estimation". 2009. *IEEE transactions on power systems*, Vol. 24, No. 2.