

جایابی بهینه واحد های اندازه گیری فازوری (PMU) با استفاده از الگوریتم دینامیکی تطبیقی ازدحام ذرات (DAPSO) به منظور رویت پذیری کامل سیستم توزیع جهت تخمین حالت به روش توپولوژیکی

مهدی مختار^۱، آرش جعفری عبدالملکی^۲ و دیاکو عزیزی^۳
^۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، memokhtar83@yahoo.com
^۲ دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، arash.jafari.a@gmail.com
^۳ هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، azizi@iust.ac.ir

چکیده - ریکرد های SCADA برای سیستم های مدیریت توزیع (DMS) در راستای مانیتورینگ و کنترل، مزایای زیادی در اختیار می گذارند. یک سیستم SCADA از تعدادی واحدهای اندازه گیری فازوری (PMU) تشکیل شده که داده های میدانی را گردآوری و به یک ایستگاه اصلی از طریق یک لینک ارتباطی می فرستند در روش پیشنهادی، سیستم توزیع باید مجهز به یک لینک ارتباط بوده و حاوی PMU هایی باشد که در باس DG ها و خازن ها نصب شده اند. سرعت بالای PMU در مقایسه با سیستم SCADA و اندازه گیری همزمان فاز کمیتهای ولتاژ و جریان از مزایای PMU می باشد. رویت پذیری کامل شبکه برای تخمین حالت و کاهش تعداد ضروری واحدهای PMU، دو هدف اساسی این پژوهش است. در این مقاله به خاطر مشکلات روش عددی، به دلیل پراکندگی زیاد ماتریسها در سیستمهای بزرگ، روش تحلیل توپولوژیکی استفاده شده است. برای حل این نوع مسائل غیرخطی بهینه سازی پیچیده، از الگوریتم های DAPSO, PSO, IPSO استفاده گردیده است. جایابی بهینه PMU برای شبکه استاندارد ۲۷ شینه IEEE بعنوان نمونه تست شبکه توزیع انجام شده است. با توجه به اینکه در اکثر مقالات جایابی بدون توجه به اهمیت و حساسیت پستها انجام می شود در این مقاله جایابی با در نظر گرفتن درجه رویت پذیری متفاوت برای پستهای حساس انجام گرفته است. نشان داده شده است که از رویت پذیری کامل شبکه با در نظر گرفتن اندازه گیر جریان و بدون در نظر گرفتن اندازه گیر جریان برای پستهای حساس، تعداد PMU از ۱۰ به ۸ کاهش می یابد.

کلید واژه- الگوریتم بهینه سازی ذرات، جایابی بهینه، رویت پذیری، واحد اندازه گیری فازوری (PMU)، اندازه گیر جریان (measurement redundancy)

مقدمه

تخمین حالت، فرایندی است که طی آن حالت سیستم تعیین می گردد و بهره بردار به کمک آن قادر به تصمیم گیری مناسب در مورد اقدام احتمالی لازم جهت حفظ کارایی مطمئن سیستم می باشد در واقع برای مشخص شدن وضعیت فعلی سیستم از تخمین حالت استفاده می گردد که ورودی تخمین حالت، نتایج دستگاههای اندازه گیری و خروجی آن معمولاً دامنه و فاز ولتاژ تمامی شین ها به عنوان حالت های سیستم می باشد. بدلیل افزایش روزافزون مصرف و گسترش تجدید ساختار و در نتیجه افزایش فشار بر روی خطوط انتقال، اغلب سیستم های قدرت نزدیک به مرز ناپایداری کار می کنند. در چنین شرایطی استفاده از سامانه سرپرستی و گردآوری داده^۱ SCADA فعلی و زیر توابع آن به منظور اطمینان از عملکرد پایدار و مطمئن سیستم کافی به نظر میرسد. خاموشی آمریکای شمالی و کانادا در سال ۲۰۰۳، نمون های از این عدم کفایت است تخمین حالت فرآیندی است که طی آن حالت سیستم تعیین شده و بهره بردار به کمک آن قادر به تصمیم گیری مناسب در مورد اعمال احتمالی لازم جهت حفظ عملکرد سیستم در حالت عادی و مطمئن می باشد. در سیستم SCADA تخمین حالت به کمک اندازه گیری های جمع آوری شده در یک پریود زمانی (چند ثانیه) صورت می گیرد.

¹ Supervisory Control And Data Acquisition

به طور کلی در مورد سیستم SCADA می توان گفت که این سیستم از اندازه گیریهای استفاده می کند که دارای چند نقطه ضعف مهم هستند. اندازه گیری های انجام شده در سیستم SCADA معمولاً همزمان نبوده و مقداری اختلاف زمانی بین آنها وجود داشته که از آن صرف نظر می گردد. از طرف دیگر نرخ نمونه برداری در دستگاههای اندازه گیری فوق چندان بالا نمی باشد (به علت محدودیت های فنی دستگاهها یا عدم ظرفیت مخابراتی کافی) از اینرو اطلاعات نمایش داده شده توسط سیستم SCADA در اصطلاح حالت پایدار یا در خوش بینانه ترین دیدگاه، حالت شبه پایدار سیستم قدرت را نمایش داده و در نتیجه بهره بردار سیستم در مرکز کنترل، دید کافی از شرایط دینامیکی موجود در سیستم نخواهد داشت. در کنار سیستم SCADA به تازگی سیستم دیگری به نام نمایش حفاظت و کنترل گسترده سیستم^۲ مطرح شده است که هدف آن جبران کاستی های موجود در سیستم SCADA بوده و مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. واحد اندازه گیری فازوری^۳ (PMU) جزء اصلی سیستم WAMPAC می باشد که قادر به اندازه گیری فازورهای ولتاژ و جریان با دقت بسیار بالا (کمتر از ۰.۱ درصد) و سرعت بسیار بالا (تا ۶۰ نمونه در ثانیه) می باشد و از سیستم موقعیت یاب جهانی^۴ (GPS) برای سنکرون سازی داده های اندازه گیری شده استفاده میکند. در صورتیکه تعداد کافی از PMUها در شینه های سیستم نصب شده باشد، تخمین حالت می تواند تنها با استفاده از اطلاعات PMUها صورت گرفته و از دقت بسیار بالایی برخوردار خواهد بود. علاوه بر مشاهده پذیری و تخمین حالت از داده های PMU برای پیدا کردن محل وقوع خطا در خطوط انتقال بررسی زمان واقعی پایداری گذرای سیستم قدرت حفاظت در سطح وسیع و پایش حرارتی خطوط انتقال و پایداری ولتاژ استفاده میگردد چون PMUها فازورهای ولتاژ و جریان تمام شاخه ها را همزمان اندازه گیری میکنند لذا لازم نیست که در همه شینه ها نصب شوند. بنابراین یکی از مسائل مهم پیدا کردن تعداد و محل بهینه PMUها با توجه به هدف و کاربرد آنها می باشد. با استفاده از داده های واحدهای اندازه گیری فازوری، امکان خطی شدن این الگوریتم بوجود آمده و سرعت و دقت تخمین حالت بسیار بیشتر میشود. این موضوع به نوبه خود باعث بهبود سرعت سیستمهای کنترلی، حفاظتی و مدیریتی که از نتایج تخمین حالت استفاده می کنند میگردد [1] و [2]. اگر همانند سیستم های متداول، از نتایج اندازه گیری دامنه ای کمیتهای استفاده گردد این الگوریتم غیر خطی و زمانبر می گردد دو هدف رویت پذیری شبکه برای تخمین حالت و کاهش تعداد یا مکانهای لازم برای استقرار این واحدها دو هدف اساسی محسوب می شوند.

البته هدف در این بین های جانبی دیگری معمولاً دنبال می شوند که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. اهمیت قرارگیری واحد در شینه های خاص به دلیل حساسیت آنها (از نظر امنیت شبکه و یا پایداری سیستم)

۲. محدودیتهای مخابراتی در شبکه های بزرگ برای انتقال اطلاعات

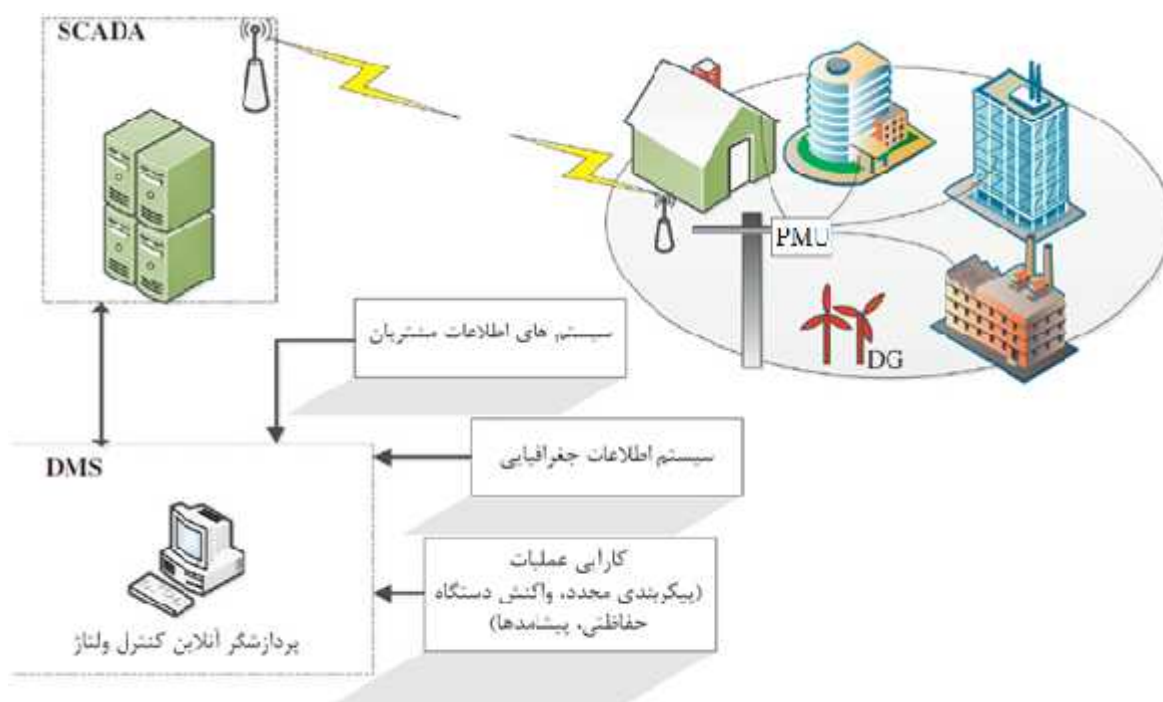
۳. امنیت تخمین حالت و وجود المان جایگزین به هنگام از دست رفتن یکی از تجهیزات اندازه گیری

در این مقاله علاوه بر شرایط اساسی در تعیین تعداد و محل نصب PMU، افزایش تعداد المان جایگزین اندازه گیری نیز در نظر گرفته شده است. تا کنون چندین طرح برای جایابی بهینه PMU پیشنهاد شده است بطوریکه هم کم کردن هزینه و هم افزایش مشاهده پذیری کامل سیستم را تضمین می کنند. [3] [4] و [5].

² Monitoring, Protection and Control Wide Area

³ phasor measurement unit

⁴ Global Positioning Systems



شکل ۱: پیکربندی SCADA، DMS و PMU

۱- تحلیل مشاهده پذیری بر مبنای PMU

عواملی همچون توسعه روزافزون تقاضای مصرف و گسترش پدیده تجدید ساختار موجب افزایش فشار روی خطوط انتقال شده و بنابراین سیستم های قدرت اغلب نزدیک به مرز ناپایداری خود کار می کنند. در چنین شرایطی استفاده از فعلی و زیر توابع آن به منظور اطمینان از SCADA سیستم عملکرد پایدار و مطمئن سیستم کافی به نظر نمی رسد. قبل از شروع به کار عملگر تخمین حالت سیستم، ابتدا باید بررسی شود که با وضعیت توپولوژیکی شبکه، آیا با مقادیر اندازه گیری جاهای مختلف سیستم تخمین حالت امکان پذیر است یا خیر؟ به طور کلی، مشاهده پذیری سیستم قدرت به معنای محاسبه متغیرهای شبکه به منظور تخمین حالت سیستم است و در صورتی که داده های مورد نیاز برای تخمین حالت موجود نباشد شبکه مشاهده پذیر نیست. متغیرهای شبکه معمولاً فازور ولتاژ شین ها تلقی می شود. این کار توسط تحلیلگر مشاهده پذیری سیستم صورت گرفته و در صورت مشاهده پذیر نبودن سیستم اقدامات اصلاحی مثل اضافه نمودن اندازه گیر کمکی صورت می گیرد به طور کلی مشاهده پذیری سیستم قدرت به معنای محاسبه متغیرهای شبکه به منظور تخمین حالت سیستم می باشد و در صورتی که داده های مورد نیاز برای تخمین حالت موجود نباشد شبکه مشاهده پذیر نخواهد بود. متغیرهای شبکه معمولاً فازور ولتاژ شین ها تلقی می شود. بطور کلی مشاهده پذیری به دو صورت عددی و توپولوژیکی قابل تقسیم است.

۱-۱- مدل خطی سیستم با PMU

در روش عددی برای اینکه بتوان تعریفی ریاضی برای مشاهده پذیری بدست آورد، باید مدلی ریاضی برای سیستم قدرت مورد نظر و یا اندازه گیری های آن بدست آورد. مدل خطی اندازه گیری که در اکثر تخمین حالتها مورد استفاده قرار میگیرد به صورت زیر تعریف می شود:

$$Z = HX + e \quad (1)$$

در این مدل بردار Z شامل m اندازه گیری از فازور ولتاژ و جریان خطوط میباشد، X بردار حالت n بعدی، H ماتریس ثابت ژاکوبین اندازه گیریها بوده و e بردار خطای اندازه گیری به صورت $m \times 1$ می باشد.
با تجزیه بردار Z به زیربردارهای ولتاژ $1 \times MV$ و جریان $1 \times MI$ ، (Z_I, Z_V) و تجزیه بردار X به زیر بردارهای اندازه گیری شده $1 \times NM$ و اندازه گیری نشده $1 \times NC$ ، (V_M, V_C) ، (V_M, V_C) رابطه (۱) بصورت زیر در می آید:

$$\begin{bmatrix} Z_V \\ Z_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & 0 \\ Y_{IM} & Y_{IC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_M \\ V_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_V \\ e_I \end{bmatrix} \quad (2)$$

طوریکه I ماتریس همانی، Y_{IM} و Y_{IC} بیانگر ادمیتانس سری و شنت شبکه میباشد. با نادیده گرفتن عناصر شنت، ماتریس H بصورت زیر کاهش مییابد:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ M_{IB} Y_{BB} A_{MB}^T & M_{IB} Y_{BB} A_{CB}^T \end{bmatrix} \quad (3)$$

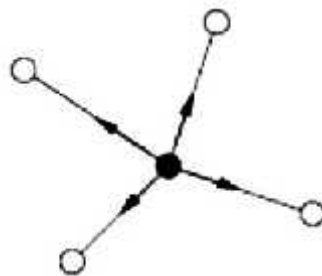
در اینجا M_{IB} ماتریس تلاقی اندازه گیری شاخه که شامل اندازه گیری فازور جریان شاخه ها بصورت $MI \times b$ می باشد، Y_{BB} یک ماتریس قطری $b \times b$ شامل ادمیتانس شاخه ها، A_{MB} و A_{CB} به ترتیب زیر ماتریس اندازه گیری شده $NM \times b$ و زیر ماتریس تلاقی گره و شاخه بصورت $NC \times b$ می باشد. در روشهای سنتی تحلیل مشاهده پذیری با بررسی فرمول زیر انجام میشود:

$$\text{Rank}(H) = 2n - 1 \quad (4)$$

با توجه به فرمول (۴) در صورتی که ماتریس ژاکوبین از درجه کامل باشد، شبکه مشاهده پذیر می باشد و تخمین حالت انجام می شود. [6]

۲-۱- روش توپولوژیکی تحلیل مشاهده پذیری

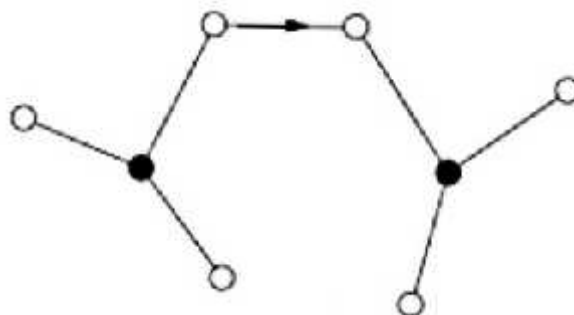
برای وارد کردن در اکثر مقالات از روش توپولوژیکی برای تحلیل مشاهده پذیری استفاده شده است. تحلیل و ارزیابی مشاهده پذیری سیستم با استفاده از دادههای PMU ، به کمک قوانین زیر صورت میگیرد:
قانون اول: شینهایی که PMU روی آنها قرار گرفته، دارای فازور ولتاژ معلوم می باشند. همچنین جریان خطوطی که به شین دارای PMU متصل هستند، مشخص می باشند (شکل ۲).



شکل ۲: قانون اول

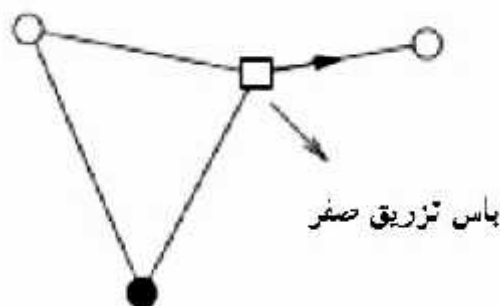
قانون دوم: در صورتی که فازور ولتاژ یک شین و جریان خطی که متصل به شین مذکور است مشخص باشد، ولتاژ شین طرف دیگر قابل محاسبه خواهد بود (اندازه گیری مجازی).

قانون سوم: در صورتی که ولتاژ شین های دو طرف یک خط مشخص باشد (اندازه گیری مستقیم یا مجازی)، آنگاه جریان آن خط قابل محاسبه است (اندازه گیری جریان مجازی) (شکل ۳)



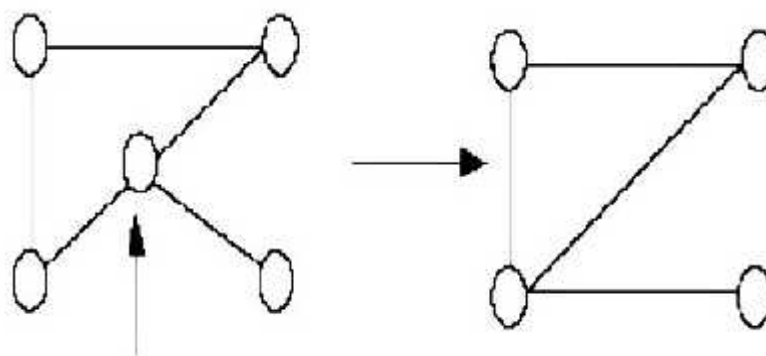
شکل ۳: قانون دوم و سوم

قانون چهارم: اگر در یک شین با تزریق صفر جریان همه شاخه ها به غیر از یکی معلوم باشد جریان آن شاخه قابل محاسبه است (اندازه گیری مجازی جریان). این قانون برای شینهای تزریق صفر قابل اعمال است. شکل ۴ چنین حالتی را نشان میدهد.



شکل ۴: قانون چهارم

قانون پنجم: استفاده از اطلاعات شین های تزریق صفر باعث کاهش تعداد PMUها میگردد (شکل ۵). با استفاده از قوانین مکان یابی میتوان به این نتیجه رسید که یک شین تزریق صفر وقتی مشاهده پذیر خواهد شد که تمام شین های متصل به آن مشاهده پذیر باشند (مستقیم یا غیر مستقیم). به همین دلیل میتوان آن شین را با یکی از شین های کناری ادغام کرد و ماتریس تلاقی تغییر یافته را بدست آورد. در شکل ۴ شین چهار تزریق صفر است و با شین مجاور ۳ ادغام شده و شین جدید ۳ تشکیل شده است: [7] [8]



شکل ۵: قانون پنجم

۳-۱- نحوه فرمولبندی مسئله جایابی PMU

PMU نصب شده در یک شین قادر است فازور ولتاژ آن شی و همچنین فازور جریان کلیه شاخه‌هایی که به آن شین متصل در نقاط PMU هستند را محاسبه کند. بنابراین با نصب استراتژیک شبکه میتوان اطلاعات مورد نیاز برای مشاهده پذیری سیستم را بدست

آورد. همانطور که قبلا ذکر شد، دوهدف مشاهده پذیری شبکه برای تخمین حالت و کاهش تعداد واحدهای PMU دو هدف اساسی محسوب می شوند. برای یک سیستم n شینه مسئله جایابی بهینه با فرمول زیر بیان می شود:

$$\min \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (5)$$

بطوریکه x یک متغیر باینری است که بصورت زیر تعریف می شود:

$$X_i = \begin{cases} 1 & \text{if a PMU is installed at bus } i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

W_i هزینه PMU نصب شده در شین i می باشد و $f(x)$ تابعی است که قید مشاهده پذیری هر شین شبکه را نشان می دهد. در ادامه نشان خواهیم داد که در صورتی که برای هر شین $f(x_i) > 1$ آن شین مشاهده پذیر خواهد بود. در طرح پیشنهاد شده قیود مشاهده پذیری در سه حالت بررسی می شود :

۱- در حالت اول فرض بر این است که بجز PMU از اندازه گیر متداول دیگری استفاده نشده است

۲- استفاده از PMU به همراه اندازه گیر تزریقی (و یا وجود شین تزریقی صفر)

۳- استفاده از PMU به همراه اندازه گیر تزریقی و اندازه گیر جریانی. برای توصیف هر حالت از یک شبکه γ شینه آموزشی استفاده کرده ایم که در شکل ۱ نشان داده شده است.

حالت اول: سیستم بدون اندازه گیر متداول و شین تزریقی صفر. ابتدا ماتریس تلاقی گره ها بصورت زیر تعریف می شود:

$$A = \begin{cases} 1 & \text{if } k = m \\ 1 & \text{if } k \text{ and } m \text{ are connected} \\ 0 & \text{if otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

ماتریس A بطور مستقیم با باینری کردن ماتریس ادمیتانس بدست می آید. ماتریس تلاقی A برای شبکه γ شینه شکل ۱ بصورت زیر می باشد:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

قیود لازم برای مشاهده پذیری در این حالت به شکل زیر بیان می شود:

$$f(x) = \begin{cases} f_1 = x_1 + x_2 & x^3 = 1 \\ f_2 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_6 + x_7 & x^3 = 1 \\ f_3 = x_2 + x_3 + x_4 + x_6 & x^3 = 1 \\ f_4 = x_3 + x_4 + x_5 + x_7 & x^3 = 1 \\ f_5 = x_4 + x_5 & x^3 = 1 \\ f_6 = x_2 + x_3 + x_6 & x^3 = 1 \\ f_7 = x_2 + x_4 + x_7 & x^3 = 1 \end{cases} \quad (9)$$

در معادلات بالا اپراتور+ به جای اپراتور منطقی OR بکار رفته است. و عدد ۱ در آنطرف نامعادله بیانگر این مطلب است که در هر سطر حداقل یکی از متغیرها مخالف صفر باشد به عنوان مثال، قیود مربوط به شین ۱ و ۲ بصورت زیر می باشد:

$$f_1 = x_1 + x_2 \geq 1 \quad (10)$$

$$f_2 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_6 + x_7 \geq 1 \quad (11)$$

قید اول $f_1 > 1$ به این معنی است که برای مشاهده پذیری شین ۱ باید حداقل یک PMU در شین ۱ یا ۲ (یا هر دو) نصب باشد و به همین ترتیب برای مشاهده پذیری شین ۲ باید حداقل یک PMU در یکی از شینهای ۱ و ۲ و ۳ و ۶ و ۷ نصب باشد.

حالت دوم: سیستم با وجود اندازه گیر تزریقی (یا شین تزریقی صفر). اندازه گیر تزریقی ممکن است به صورت اندازه گیر واقعی یا بصورت شین تزریق صفر بیان شود که در هر دو صورت رفتار یکسانی دارد.

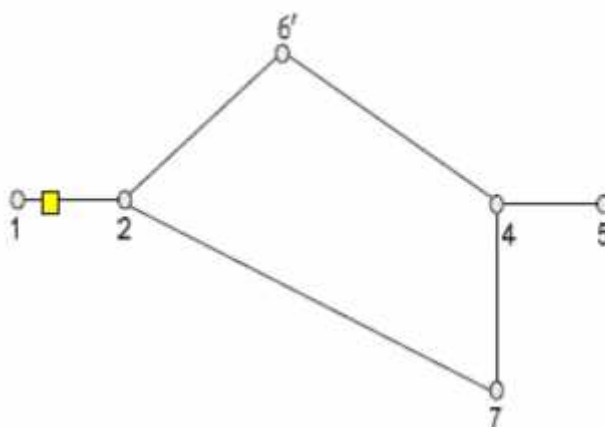
مجددا سیستم ۷ شینه شکل ۱ را در نظر میگیریم. بطوریکه در این حالت فرض می کنیم شین ۳، شین تزریق صفر باشد. در این مورد به آسانی مشاهده می کنیم که اگر فازور ولتاژ در ۳ شین از ۴ شین ۲ و ۳ و ۴ و ۶ معین باشد، فازور ولتاژ شین چهارم با نوشتن kcl در گره ۳ محاسبه می شود. بنابراین در توپولوژی شبکه میتوان شینی که شامل اندازه گیر تزریقی می باشد و یا شین تزریق صفر را با یکی از شینهای مجاور ترکیب کرد. شکل ۲ همان شبکه قبلی می باشد در حالتی که شینهای ۳ و ۶ با هم ترکیب شده اند و شین جدید '6 جایگزین آنها شده است. ماتریس تلاقی A در این حالت بصورت زیر در می آید:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

بنابراین معادلات قیود در این حالت بصورت زیر در می آید:

$$f(x) = \begin{cases} f_1 = x_1 + x_2 & x^3 \ 1 \\ f_2 = x_1 + x_2 + x_{6'} + x_7 & x^3 \ 1 \\ f_4 = x_4 + x_5 + x_{6'} + x_7 & x^3 \ 1 \\ f_5 = x_4 + x_5 & x^3 \ 1 \\ f_6 = x_2 + x_4 + x_{6'} & x^3 \ 1 \\ f_7 = x_2 + x_4 + x_7 & x^3 \ 1 \end{cases}$$

(۱۳)



شکل 6: سیستم نمونه بعد از ترکیب شینهای ۳ و ۶

حالت سوم: سیستم با در نظر گرفتن اندازه گیر تزریقی به همراه اندازه گیر جریان.

این حالت نیز در شبکه ۷ شینه نمونه بررسی شده است. در این حالت اندازه گیر جریانی مابین شینهای ۱ و ۲ نصب شده است. بنابراین قیود مربوط به شین های ۱ و ۲ بصورت رابطه (۱۳) تغییر می کند. نکته قابل ذکر در این حالت این است که اندازه گیر جریانی که روی یک شاخه نصب شده است، در واقع جریان آن شاخه را مشخص می کند و در صورتی که ما ولتاژ یک سر این شاخه را داشته باشیم، طبق قوانین گفته شده ولتاژ سر دیگر بدست می آید. بنابراین ما می توانیم قیود مربوط به شین ۱ و ۲ را بصورت زیر با هم ترکیب کنیم:

$$\begin{cases} f_1 = x_1 + x_2 & x^3 \ 1 \\ f_2 = x_1 + x_2 + x_{6'} + x_7 & x^3 \ 1 \end{cases}$$

(۱۴)

$$f_{1new} = f_1 + f_2 = x_1 + x_2 + x_{6'} + x_7 \quad x^3 \ 1$$

معادله بالا به این معنی است که اگر یکی از شین های ۱ و ۲ مشاهده پذیر باشد، شین دیگر نیز مشاهده پذیر خواهد بود. بنابراین قیود نهایی در این حالت به صورت زیر تغییر می کند:

$$f(x) = \begin{cases} f_{1new} = x_1 + x_2 + x_6 + x_7 & x^3 - 1 \\ f_4 = x_4 + x_5 + x_6 + x_7 & x^3 - 1 \\ f_5 = x_4 + x_5 & x^3 - 1 \\ f_6 = x_2 + x_4 + x_6 & x^3 - 1 \\ f_7 = x_2 + x_4 + x_7 & x^3 - 1 \end{cases} \quad (15)$$

معادلات بالا علاوه بر ترکیب شین های ۱ و ۲، شین ۳ نیز چون شین تزریق صفر می باشد با توجه به توضیحات حالت دوم با شین ۶ ادغام شده است. [9]، [10] و [11].

۴-۱ - روش حل مساله بهینه یابی با استفاده از الگوریتم PSO , IPSO , DAPSO

الگوریتم PSO یا روش بهینه سازی دسته ذرات توسط Eberhart و Kennedy در [11] معرفی شده است. مجموعه ی الگوریتم های PSO, IPSO, DAPSO در واقع رفتار اجتماعی گروه پرندگان یا آموزش ماهیها و روشهای مکانیابی و دسترسی به منابع غذا و ... را شبیه سازی میکند.

در این تحقیق با توجه به نتایج بدست آمده نهایتاً از الگوریتم DAPSO به منظور جایابی بهینه PMU بر مبنای روشی که در قسمت قبل تشریح شد، استفاده کرده ایم. از روی روابط زیر می بینیم که هر ذره دو مقدار بهترین را دنبال می کند. بهترین پاسخی که خود ذره بدست آورده و بهترین پاسخی که ذرات دیگر بدست آورده اند. سرعت ذرات پس از شروع جستجو به صفر می رسد و باعث گیر افتادن آن ها در بهینه های محلی می شود. برای جلوگیری از این عمل، ضریب وزن لختی در الگوریتم پیشنهادی بصورت زیر تغییر می یابد که خود تابعی از پارامترهای دیگر می باشد:

$$v_i^{k+1} = \tilde{S}v_i^k + c1r1(XPbest_i^k - X_i^k) + c2r2(XGbest_i^k - X_i^k) \quad (16)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + v_i^{k+1}, i = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

در این الگوریتم، ضریب وزن لختی تحت تاثیر حالت تکاملی قرار داشته و با ضریب سرعت تکاملی و ضریب تجمع ذرات در روابط زیر بیان می شوند:

$$\tilde{S}_i^k = \tilde{S}_{ini} - r(1 - h_i^k) + Ss \quad (18)$$

$$h_i^k = \frac{\min(F(pbest_i^{k-1}), F(pbest_i^k))}{\max(F(pbest_i^{k-1}), F(pbest_i^k))} \quad (19)$$

$$S = \frac{\min(F_{kpbest}, \bar{F})}{\max(F_{kpbest}, \bar{F})} \quad (20)$$

که در آن، F مقدار برازندگی تمامی ذرات در اجتماع در تکرار k ام است. مقدار \tilde{S}_{ini} مقدار اولیه ضریب وزن لختی بوده و با توجه به تجربیات برابر با ۱ در نظر گرفته می شود مقدار α و β در اینجا بترتیب برابر با ۰٫۴ و ۰٫۸ در نظر گرفته شده اند.

در این روش با بکار بردن حداقل تعداد PMU شبکه بصورت کامل مشاهده پذیر می شود. بردار موقعیت هر ذره بیانگر حل بالقوه مسئله جایابی PMU می باشد. همانطور که در قسمت ۴ ذکر شد، برای تعیین بهترین ذرات در هر تکرار و استفاده از آنها در تکرارهای بعدی به منظور حل مسئله بهینه سازی نیاز به یک تابع شایستگی می باشد و بردار بهترین ذره (ذره با موقعیت مناسب) در هر تکرار ($pbest_i$) همچنین بردار بهترین ذره در بین تکرارهای مختلف توسط (gbest) این تابع شایستگی تعیین می شوند. هدف از جایابی بهینه PMU در این تحقیق محاسبه حداقل تعداد مورد نیاز PMU برای مشاهده پذیری کامل شبکه و حداکثر کردن تعداد المان های

جایگزین اندازه گیری در سیستم می باشد. بنابراین تابع شایستگی باید به گونه ای باشد که همه مواردی که گفته شد در آن در نظر گرفته شود: ۱- مشاهده پذیری سیستم ۲- حداقل کردن تعداد PMU ۳- حداکثر کردن تعداد المان جایگزین اندازه گیری [12]، [13] و [14].

بطور خلاصه می توان گفت اگر تعداد دفعاتی که یک شین با PMU مشاهده پذیر می شود یک واحد افزایش پیدا کند، تعداد المان جایگزین اندازه گیری برای آن شین یک واحد افزایش می یابد. تابع شایستگی که در این تحقیق برای DAPSO در نظر گرفته شده است به صورت زیر می باشد:

$$J(x) = w_1' \sum_i^{N_b} f_i + w_2' N_{pmu} + w_3' J_1 \quad (21)$$

بیانگر تعداد شینه‌های مشاهده پذیر، N_{PMU} بیانگر تعداد PMU و J_1 بیانگر المان جایگزین اندازه گیری می باشد. وزن های w_1 ، w_2 و w_3 به منظور انتخاب دامنه مناسب برای هر قسمت از تابع شایستگی استفاده شده است. همچنین N_b تعداد شینه‌های شبکه می باشد. J_1 و N_{PMU} بصورت زیر تعریف می شوند:

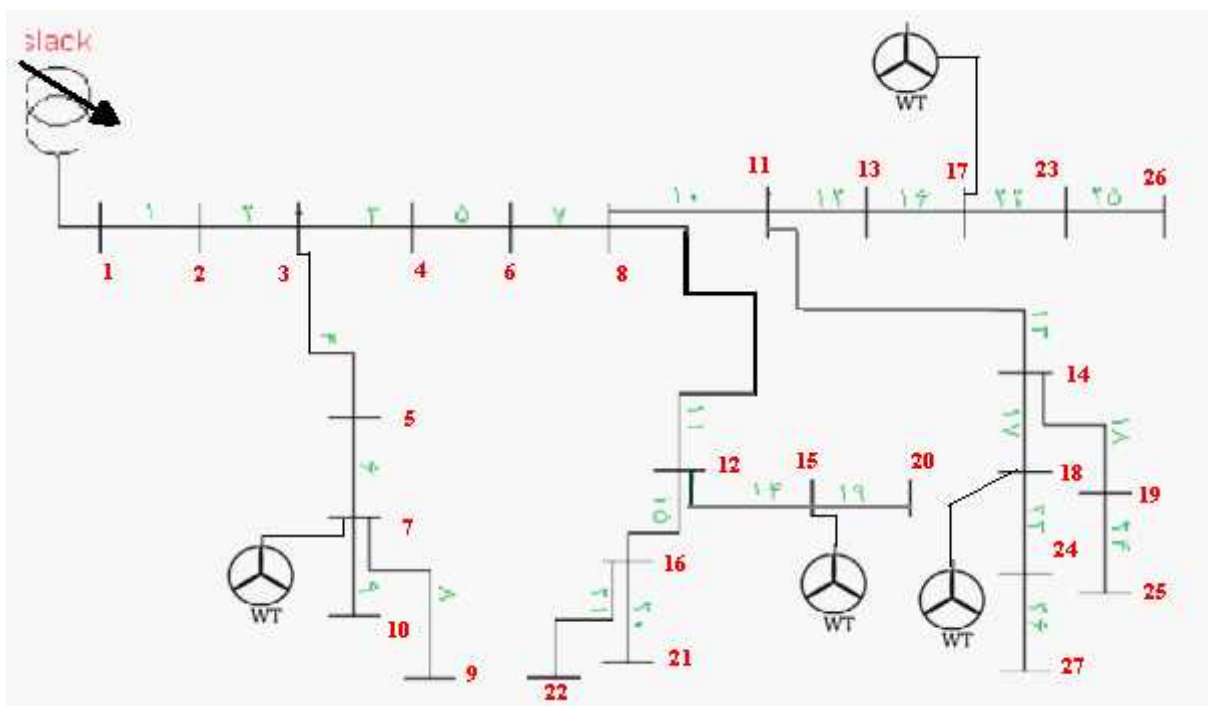
$$N_{pmu} = X^T X \quad (22)$$

$$J_1 = (M - AX)^T (M - AX) \quad (23)$$

حاصل ضرب AX در فرمول (۲۳) نشان دهنده تعداد دفعاتی است که هر شین شبکه بوسیله جایگذاری PMU مشاهده پذیر می شود. بردار X که قبلاً تعریف شد، جایابی PMU را نشان می دهد. بردار M بر مبنای سطح مطلوبی از measurement redundancy در سیستم انتخاب می شود. برای مثال اگر برای تمام شینه‌ها سطح ۲ مطلوب باشد، تمام عناصر بردار M باید برابر ۳ باشند. بردار $(M - AX)$ اختلاف بین تعداد مطلوب و واقعی دفعاتی که هر شین مشاهده پذیر می شود، می باشد. بنابراین کم کردن این اختلاف منجر به افزایش المان جایگزین اندازه گیری می شود. در نتیجه ترم J_1 معیاری برای measurement redundancy در جایابی PMU می باشد. [15]، [16]، [17] و [18].

۵-۱- شبکه ۲۷ شینه استاندارد IEEE

متد پیشنهادی بر یک نمونه سیستم آزمایشی بعنوان تست (شبکه توزیع شعاعی) ۲۰ کیلو وات که در شکل ۷ نشان داده شده است اعمال شد. این شبکه دارای ۲۷ باس می باشد و همچنین در ۴ نقطه از آن توربین های بادی نصب گردیده است، بارهای این سیستم در سه نوع تجاری، مسکونی و صنعتی می باشند.



شکل ۷: نمونه شبکه تست ۲۷ شینه استاندارد IEEE

۱-۶- مکانیابی PMU در شبکه توزیع نمونه به روش توپولوژیک

در این قسمت با توجه به شرایطی که در زمینه رویت پذیری PMU ها در فصل پیش ارائه شد در این قسمت با توجه به تابع هدف بهترین مکان های ممکنه را برای قرار دادن PMU ها با بیشترین مقدار ممکنه برای رویت پذیری سیستم تعیین می گردد. در این بخش دو آزمایش صورت می گیرد که در آزمایش اول مکانیابی PMU بدون در نظر گرفتن واحد های اندازه گیری جریان انجام می پذیرد و در حالت دوم این مسئله با در نظر گرفتن واحد های اندازه گیری جریان انجام می پذیرد. نتایج در جدول ۱ اریه شده و مورد مقایسه قرار گرفته است.

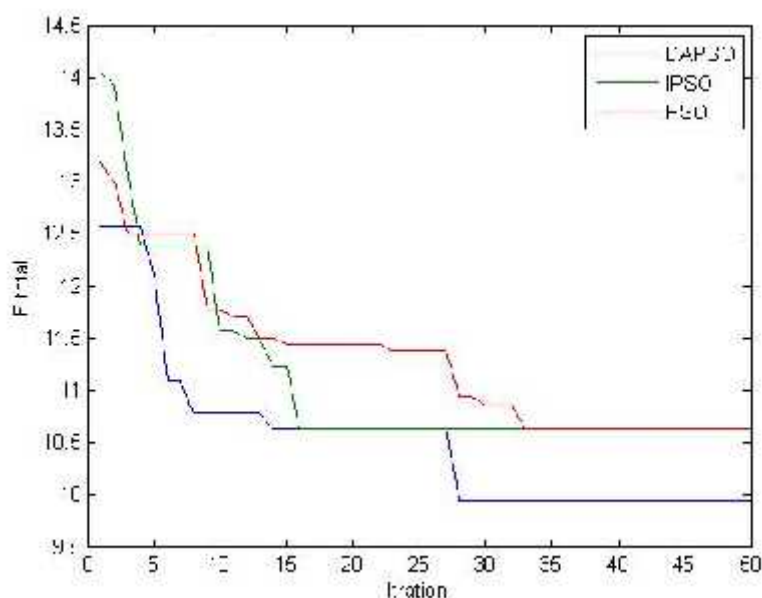
جدول ۱: نتایج بدست آمده برای مکانیابی PMU با استفاده از الگوریتم DAPSO

با اندازه گیر جریان	بدونه اندازه گیر جریان	
۸	۱۰	تعداد واحدهای PMU
۲ و ۶ و ۷ و ۱۱ و ۱۵ و ۱۶ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵	۲ و ۳ و ۷ و ۸ و ۱۱ و ۱۵ و ۱۶ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵	مکان نصب واحدهای PMU
۲	۰	تعداد واحدهای اندازه گیر جریان
۱۰ و ۱۵	-	مکان نصب واحدهای اندازه گیر جریان
۴۴	۳۴	میزان رویت پذیری

همانطور که در نتیجه ملاحظه می گردد در حالت ۲ با در نظر گرفتن واحد های اندازه گیری جریان که در محل های ۱۰ و ۱۵ قرار گرفته اند باعث کاهش تعداد PMU های مورد استفاده و افزایش میزان رویت پذیری سیستم شده است. البته در هر دو حالت کل سیستم رویت پذیر می باشد که دلیل آن قید اصلی طراحی سیستم می باشد که در آن مسئله با هدف رویت پذیری کامل مورد طراحی قرار گرفت. همچنین در یک مقایسه ساده در جدول ۲ ملاحظه می گردد که برای حالت دوم الگوریتم DAPSO نتایج بهتری نسبت به الگوریتم IPSO و PSO می دهد و همچنین سرعت همگرایی بالاتری نسبت به این الگوریتم ها دارد که در شکل ۸ نمایش داده شده است.

جدول ۲: نتایج بدست آمده برای مکانیابی PMU با استفاده از سه الگوریتم DAPSO و IPSO و PSO

الگوریتم PSO	الگوریتم IPSO	الگوریتم DAPSO	تعداد واحدهای PMU
۸	۸	۸	مکان نصب واحدهای PMU
۳ و ۷ و ۸ و ۱۶ و ۱۷ و ۲۰ و ۲۶	۴ و ۷ و ۸ و ۱۱ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۹	۲ و ۶ و ۷ و ۱۵ و ۱۷ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵	
۲۷	۲۳		
۲	۲	۲	تعداد واحدهای اندازه گیر جریان
۱ و ۱۸	۱ و ۲۶	۱۰ و ۱۵	مکان نصب واحدهای اندازه گیر جریان
۳۸	۳۸	۴۴	میزان رویت پذیری



شکل ۸: مسیر همگرایی سیستم به ازای الگوریتم های مختلف بهینه سازی

۲- نتیجه‌گیری

PMU تحول عظیمی در بهره‌برداری سیستم‌های قدرت ایجاد کرده است. نتایج نشان می‌دهد که با ۱۰ واحد PMU می‌توان شبکه توزیع را بطور کامل مشاهده پذیر نمود و با ۸ واحد PMU ضمن حفظ مشاهده پذیری کامل برای تمامی پستها، میتوان بادر نظر گرفتن اندازه گیر جریان نه تنها میزان رویت پذیری را افزایش داد بلکه تعداد واحد های PMU را نیز کاهش داد که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه خواهد بود و در واقع توجه به مزایای افزایش قابلیت اطمینان شبکه، این افزایش هزینه ناشی از افزایش تعداد PMU در مقایسه با سیستم SCADA که مستلزم نصب RTU در تمامی پست ها می باشد ، توجیه اقتصادی دارد.

در ادامه کار تحقیقاتی این مقاله می‌توان با رده بندی حساسیت پستها، درجه رویت پذیری پستها را در چند رده مختلف در نظر گرفت. در الگوریتم‌های بهینه سازی ازدحام ذرات، توابع هدف مختلفی برای جایابی واحدهای اندازه گیری فازور قابل تعریف است. دو هدف رویت پذیری شبکه برای تخمین حالت و کاهش تعداد یا مکانهای لازم برای استقرار این واحدها دو هدف اساسی محسوب می‌شود. اما در این بین هدف های دیگری نیز می‌تواند دنبال شود. که از آن جمله می‌توان به موارد بهبود شاخص ماتریس وضعیت، محدودیتهای مخابراتی برای انتقال اطلاعات، امنیت تخمین حالت با از دست رفتن دستگاههای اندازه گیری در زمان بهره برداری و در نظر گرفتن روش های جدید برای عمل رویت پذیری شبکه و در نظر گرفتن طراحی سیستم در کنار جایابی و بهینه سازی شبکه، اشاره نمود.

با تشکر فراوان از استاد گرانقدر جناب دکتر دباکو عزیز

مراجع

- [1] P. Sakis Meliopoulos, George J. Cokkinides and et al." PMU Data Characterization and Application to Stability Monitoring", IEEE ,PSCE, 2006, pp. 151-158
- [2] Kai-Ping,Chin-Wen Liu,Chi-Shan Yu, and Joe-Air Jiang," transmission network fault location observability With minimal PMU placement", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 21, No. 3,pp 1128-1136,july 2006.
- [3] R. F. Nuqui and A. G. Phadke, "Phasor Measurement Unit Placement techniques for complete and incomplete observability," IEEE Trans Power Delivery, vol. 20, no. 4, pp. 2381-2388, Oct. 2005.
- [4] Y. del Valle, G. K. Venayagamoorthy, S. Mohagheghi, J. C. Hernandez, and R. G. Harley, "Particle swarm optimization: basic concepts, variants and applications in power systems," IEEE Trans. Evolutionary Computation, vol. 12, no. 2, pp. 171-195, Apr. 2008.
- [5] Zakariyazadeh, A., et al. "A new approach for real time voltage control using demand response in an automated distribution system," Applied Energy., vol. 117, pp. 117-157, 2014.
- [6] Zhao Hong-Shan , Li Ying, Mi Zeng-qiang, Yu Lei "Sensitivity Constrained PMU Placement for Complete Observability of Power Systems," IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition ,0-7803-9114-2005IEEE.
- [7] Abhinav Sadu, Rajesh Kumar, "Optimal Placement of Phasor Measurement Units using Particle Swarm Optimization", 2009 IEEE.
- [8] F.J. Marín, F. Garcá-Lagos, G. Joya and F. Sandoval. "Genetic algorithms for optimal placement of phasor measurement units in electrical networks" ELECTRONICS LETTERS 18th September 2003 Vol. 39 No. 19
- [9] S. Chakrabarti, G. K. Venayagamoorthy, and E. Kyriakides, "PMU Placement for Power System Observability using Binary Particle Swarm Optimization" 2008 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC'08) Paper P-191 Page 15.
- [10] Nadia H.A. Rahman, Ahmed F. Zobaa, "Optimal PMU placement using topology transformation method in power systems". Journal of Advanced Research pp. 625–634, Sep 2016.
- [11] Chunhua Peng, Xuesong Xu, "A Hybrid Algorithm Based on BPSO and Immune Mechanism for PMU Optimization Placement". Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation June 25 - 27, 2008, Chongqing, China
- [12] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in Proc.IEEE Int. Conf. Neural Networks, vol. IV, Perth, ustralia, 1995, pp. 1942–1948.
- [13] J. E. Anderson and A. Chakraborty, "PMU placement for dynamic equivalencing of power systems under flow observability constraints," Electr. Power Syst. Res., vol. 106, pp. 51-61, Jan. 2014.
- [14] K. J. Makasa and G. K. Venayagamoorthy, "On-line voltage stability load index estimation based on PMU measurements," Power Energy Soc. Gen. Meet. 2011 IEEE, pp. 1–6, 2011.
- [15] S. Chakrabarti and E. Kyriakides, "Optimal placement of phasor measurement units for power system observability," IEEE Trans. Power Systems, vol. 23, no. 3, pp. 1433-1440, Aug. 2008.
- [16] Aminifarf F., Khodaei A., Fotuhi-Firuzabad M., Shahidehpour M. Contingency-constrained PMU placement in power networks. IEEE Trans Power Syst. 2010;25(1):516–523.
- [17] Ahmadi A., Alinejad-beromi Y., Moradi M. Optimal PMU placement for power system observability using binary particle swarm optimization and considering measurement redundancy. Expert Syst Appl.2011;38(6):7263–7269.
- [18] Mazhari S.M., Monsef H., Lesani H., Fereidunian A. A multi-objective PMU placement method considering measurement redundancy and observability value under contingencies. IEEE Trans Power Syst.2013;28(3):2136–2146.