

کاربرد الگوریتم ژنتیک در مکان یابی بهینه واحدهای اندازه گیری فازوری با قید مشاهده پذیری کامل و درنظر گرفتن از دست رفتن خط

مهندی افروزه^{*}^۱، علی اصغر قدیمی^۲، علی رضا افشاری مقدم^۳، سعید شاهرضايی^۴.

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر موسسه آموزش عالی پیام گلپایگان، گلپایگان، ایران

۲- دانشکده فنی مهندسی، گروه برق دانشگاه اراک، اراک، اراک

۳- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر موسسه آموزش عالی پیام گلپایگان، گلپایگان، ایران

۴- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر موسسه آموزش عالی پیام گلپایگان، گلپایگان، ایران

خلاصه

امروزه درسیستم های قدرت به دلایل مختلف از جمله خطی سازی معادلات تخمین حالت و بهبود سرعت سیستم های کنترلی و حفاظتی از واحدهای اندازه گیری فازوری^۱ (PMU) استفاده می شود. همچنین از مسائل مهم این روزهای سیستم های قدرت بدست آوردن اطلاعات صحیح و به روز از جای جای سیستم است.

بهینه سازی تعداد و مکان این تجهیزات با توجه به قیمت بالای آن ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. مسئله تخمین حالت سیستم قدرت در صورتی که این واحدهای اندازه گیری در جای بهینه خود قرار گیرند، بخوبی می تواند نتایج مطلوبی را با توجه به تعداد حداقل آنها بدست آورد یا اصطلاحاً جایابی بهینه آنها را به منظور داشتن حداقل خطای تخمین به دنبال دارد[۳].

در این مقاله واحدهای اندازه گیری فازوری در قالب یک مساله بهینه سازی، در یک شبکه متعارف قدرت با استفاده از الگوریتم ژنتیک^۳ (GA) در حضور و عدم حضور مرسوم باس تزییقی صفر خطوط انجام شده است. در پایان، عملکرد روش ارائه شده با ارائه ای قید از دست رفتن خط^۲ (LOL) بر روی شبکه ۱۴,۳۰ و ۵۷ باسه IEEE استاندارد مورد بررسی قرار گرفته است.

خروجی به دست آمده از الگوریتم طی تکرار هایی با دیدگاه های فنی و محیطی نیز ارزیابی می گردد، سپس در انتهای مقایسه نتایج بدست آمده از روش پیشنهاد شده با سایر روش های متعارف کارایی مدل مورد نظر ارزیابی می گردد.

کلمات کلیدی: الگوریتم ژنتیک، جایابی بهینه، واحدهای اندازه گیری فازوری، سیستم موقعیت یاب جهانی، رویت پذیری، از دست رفتن خط

۱. مقدمه

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 سیستم SCADA^۱ به منظور اطمینان عملکرد پایدار و مطمئن سیستم، کافی به نظر نمی رسد. همچنین خاموشی آمریکای شمالی و کانادا در سال 2003 نمونه ای از این حالات است[۱]. یکی از مسائل مهم در بهره برداری از

* دانش آموخته کارشناسی ارشد موسسه آموزش عالی پیام گلپایگان

Email: mahdiafroozeh@gmail.com

¹ phasor measurement unit

² Loss of Line

³ Genetic Algorithm

مهندسی برق، مکانیک و مکاترونیک

3rd National and First International Conference in applied research on
Electrical, Mechanical and Mechatronics Engineering

سیستم های قدرت، حفظ امنیت آن است. بهره بردار شبکه باید اطمینان حاصل کند که در هر لحظه متغیرهای شبکه در محدوده مجاز خود قرار داشته و در صورت وقوع پیشامدهای مهم نیز سیستم همچنان عملکرد عادی خود را حفظ می کند. بدون شک اولین قدم در راه ارزیابی امنیت سیستم، نمایش شرایط بهره برداری فعلی آن بوده به نحوی که پس از بررسی آن، تصمیمات احتمالی لازم جهت حفظ شرایط عملکرد مطلوب گرفته شود. برای مشخص کردن وضعیت فعلی سیستم از تخمین حالت استفاده می شود. هدفنهایی از اجرای تخمین حالت، نمایش متغیرهای شبکه بوده به نحوی که بهره بردار سیستم با استفاده از خروجی تخمین حالت، قادر به اجرای سایر اعمال ناظارتی و کنترلی نظری پخش بار بهینه و ارزیابی امنیت سیستم باشد. در گذشته به دلیل مشکلات فنی پیرامون همزمان سازی اندازه گیری های انجام شده در نقاط مختلف شبکه، این اندازه گیری ها فاقد زاویه بود و شامل اندازه ولتاژ و توان تزریقی برخی باشند و اندازه فلوی عبوری بعضی از خطوط می شدند. اندازه گیری های فوق گرچه امکان حل مساله تخمین حالت را غالباً فراهم می سازند، اما بنا بر دلایلی از جمله دوره اندازه گیری طولانی و داشتن روابط غیرخطی با متغیرهای حالت سیستم، همچنین سرعت پایین نمونه برداری این سیستمهای (حدوداً هر ۱۰ ثانیه یکبار اندازه ولتاژ، جریان، توان اکتیو و راکتیو را ارائه می دهند) موجب کندی در زمان اجرای تخمین حالت شده و دقت آن را نیز بعضاً تحت الشاع قرار می دهد [۳]. گسترش تکنیک های سنتکرون سازی بین نقاط مختلف، مشکلات فوق را برطرف کرده و منجر به پیدایش واحد اندازه گیری فازوری گردیده است. PMU، یک دستگاه اندازه گیری است که فازور ولتاژ شین و جریان خطوط متصل به آن شین را اندازه گیری می نماید. با توجه به معین بودن فازور ولتاژ و جریان در تمام شین ها و خطوط، شرط لازم و کافی برای روئیت پذیری کامل شبکه فراهم می گردد. لذا نصب تعداد کافی واحد فازوری، تخمین حالت و روئیت پذیری کامل شبکه را تضمین می نماید . با توجه به لزوم همزمانی اندازه گیری ها در شبکه، واحدهای فازوری از یک سینکال سنتکرون کننده، که غالباً توسط GPS² ارسال می شود، بهره می گیرند. PMU ها فازور ولتاژ و جریان را با نرخ متغیر از ۱ تا ۶۰ نمونه در هر ثانیه و با دقت بسیار بالا به سیستم ارائه می دهند که مکانیزم اجرای این عمل با استفاده از الگوریتم تبدیل فوريه گسسته بازگشتی در ادامه آورده شده است. این داده ها امکان تخمین حالت خطی را هم به ما می دهند که سرعت خیلی بیشتری دارد. با توجه به هزینه بالای PMU ها، تعیین مکان و تعداد بهینه این واحدها به منظور مشاهده پذیری کامل شبکه، از جمله مواردی است که باید حتماً مد نظر طراحان سیستم قدرت قرار گیرد [4].

با توجه به اهمیت مسئله مکان یابی واحدهای اندازه گیری فازور، تا کنون پژوهش های مختلفی در این زمینه انجام شده است از آنجایی که هر گونه تلاشی در جهت کاهش هزینه های توسعه، صرفه جویی در هزینه های سیستم را به دنبال خواهد داشت، لذا دسته ای از این پژوهش ها با ارائه روش های جدید و یا اعمال الگوریتم های بهینه سازی تکاملی PSO روبکردی در بهبود پاسخ ها داشته اند. استفاده از الگوریتم ژنتیک، الگوریتم برنامه ریزی خطی (ILP)، الگوریتم رقابت استعماری (ICA) نمونه هایی از تحقیقات انجام شده در این زمینه هستند. از این میان الگوریتم ژنتیک یکی از بهترین پاسخ ها را برای چنین مسائلی که دارای تعداد متغیرهای بالاست را فراهم می سازد [1]. در این مقاله برای جایابی بهینه PMU با لاحظ کم بودن تعداد و مشاهده پذیری کامل سیستم قدرت از روش ژنتیک بهره گرفته ایم. در این مقاله علاوه بر این که شرایط اساسی در تعیین تعداد و محل نصب PMU رعایت شده بلکه مشاهده پذیری کامل سیستم در هنگام وقوع حوادثی که منجر به از دست رفتن خط انتقال گشته را تضمین می کند. در قسمت بعدی به بیان مسئله و روش بهینه سازی جایابی PMU از طریق الگوریتم پرداخته می شود، سپس مشاهده پذیری را در حالات گوناگون حضور و عدم حضور باس تزریقی صفر به همراه ورود قید جدید از دست رفتن خط انتقال بررسی و پس از آن نتایج شبیه سازی ارائه و تحلیل می شوند. مهم ترین قسمت طرح پیشنهاد شده برای جایابی بهینه PMU در قسمت ۵ تشریح شده است. نتایج شبیه سازی و تست روش پیشنهاد شده بر روی شبکه IEEE ۱۴, ۳۰ و ۵۷ با سه استاندارد در قسمت ۶ بیان شده

¹ Supervisory Control And Data Acquisition

² Global Positioning System

۲. اهداف رؤیت پذیری سیستم

تخمین حالت و کاهش تعداد یا مکان های لازم برای استقرار این واحدها دو هدف اساسی محسوب میشوند. البته در این بین هدفهای جانبی دیگری معمولاً دنبال میشوند که از آن جمله میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

۲.۱ تعیین محدوده ای استراتژیک برای انتخاب شین تزریق صفر در شبکه واقعی

۲.۲ اتخاذ تدبیری جهت قید مهم از دست رفتن خط انتقال و عدم رؤیت پذیری

در مرجع شماره [12] روش رویت پذیری عددی برای جایابی بهینه واحدهای اندازه گیری فازور با استفاده از روش بازگشتی جستجوی تابو ارائه شده است، در این مرجع، یک روش عددی هم برای بررسی رویت پذیری شبکه ارائه شده است. نتایج شبیه سازی علیرغم رسیدن زودتر به جواب، حداقل تعداد PMU مورد نیاز را میدهد.

در مراجع [10] و [11] الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله جایابی برای $b-1$ ¹-bus برده شده است و جایابی PMU ها با در نظر گرفتن عدم تطابق در اندازه گیری زاویه فاز انجام گرفته است.

در مرجع [13] نویسنده از برنامه ریزی صحیح برای پیدا استفاده کرده PMU کردن تعداد بهینه و موقعیت قرارگیری است در حالی که مسئله مینیمم محلی که ممکن است در بهینه سازی تاثیرگذار باشد، در نظر گرفته نشده است.

در این مقاله علاوه بر یک مکان یابی نمونه جهت ایجاد PMU در هر باس، بلکه عمل رؤیت پذیری با ایجاد قید جدید، در اولویت نسبت به کاهش تعداد PMU در سیستم قرار گرفته است به طوری که مشاهده پذیری کامل سیستم را تضمین می کند.

۳. نحوه اندازه گیری فازور توسط PMU

نمایش فازوری برای یک کمیت سینوسی بصورت $x(t) = X_M \cos(\omega t + \varphi)$ با رابطه زیر بیان می شود[5]:

$$X = \frac{X_M}{\sqrt{2}} e^{j\varphi} \quad (1)$$

فازور سیگنال $(t)x$ که نمونه برداری از سیگنال مرجع در زمان $t = \tau$ می باشد را با استفاده از تبدیل فوریه گستته (DFT) به کمک (1) محاسبه می نماید. که در آن N تعداد نمونه ها در یک پریود فرکانس پایه ای نامی می باشد.

$$X_c = \sum_{k=1}^N \chi_k \cos k\theta \quad (2)$$

$$X_s = \sum_{k=1}^N \chi_k \sin k\theta \quad (3)$$

زاویه ای نمونه برداری متناظر با τ است[5].

فازور به روز شده با استفاده از رابطه زیر بدست خواهد آمد.

$$X^{r+1} = X^r + \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2}{N} (\chi_{N+r} - \chi_r) e^{-jr\theta} \quad (4)$$

¹ bus-ranking

۳.۱ تخمین حالت و مسئله مکان یابی برای تخمین حالت

تخمین حالت مهم ترین قسمت در مانیتورینگ شبکه قدرت است که با توجه به اندازه گیری های در دسترس و اطلاعاتی که راجع به تپولوژی شبکه دارند مقادیر فازورهای ولتاژ های باس های سیستم را محاسبه می کنند. اندازه گیری ها عموماً توسط RTU¹ ها که در پست ها نصب می شوند صورت می گیرد [1].

در صورتی که در یک سیستم فازور ولتاژ و جریان اندازه گیری شود، معادلات حالت سیستم بصورت خطی قابل نوشتن می شوند. از این رو و با توجه به کاربردهای PMU² ها، امروزه بیشتر از این معادلات برای تخمین حالت سیستم های الکتریکی استفاده می گردد [5].

۳.۲ مکان نصب PMU و پیدا کردن محل خطا

نکته بسیار مهم در استفاده از اندازه گیری های فازوری جهت تخمین حالت سیستم آن است که به منظور تخمین حالت لزومی ندارد اندازه گیری در تمام نقاط مورد نظر انجام شود یا به تعییر دیگر اندازه گیری ها را در تمام نقاط لحاظ کنیم، داشتن تعداد محدودی PMU در نقاط کلیدی شبکه به کمک نرم افزارهای موجود، کل سیستم را روبت پذیر می کند و این مسئله عملاً قید هزینه را برآورده می سازد [4].

نکته دیگر این که ادوات PMU نصب شده در شبکه، امکان یافتن داده های پایانه ۲ طرف خط را میسر می سازد و با توجه به سنکرون بودن این داده ها امکان جایابی دقیق خطا میسر می شود.

۳.۳ پیش بینی ناپایداری گذرا و دینامیک

مطالعات امنیت شبکه کاربرد فراوانی در طراحی، توسعه، اصلاح عملکرد شبکه و یا حفظ پایداری سیستم قدرت دارد. این مطالعات می توانند به یکی از دو صورت on-line یا off-line انجام شوند که هر یک کاربردهای خاص خود را دارند. اندازه گیری فازورهای سنکرون شده می تواند آنالیز پایداری و پیش بینی پایداری را بصورت Real-Time میسر سازد که در این مقاله با تفصیل بررسی شده است [4].

۳.۴ حفاظت گستردگی شبکه و رله گذاری تطبیقی

رله های OOS² نوسان را به کمک تغییر امپدانس ظاهری مشاهده شده توسط رله دیستانس آشکار می سازند [2]. مشکل این روش این است که شرایط واقعی با توجه به نوسان توان با شرایطی که در شرایطی سازی پایداری استفاده شده است فرق می کند. ولی به کمک PMU ها می توان داده های دینامیکی را با توجه به نوسان توان تغییر داد.

¹ Remote terminal unit

² out-of-step

روش های حفاظت تطبیقی شامل تنظیم نواحی تحت پوشش رله های OOS و رله های قطع بار ولتاژی و فرکانسی هستند [2]، که در این زمینه هم از PMU بطور گستردگی استفاده شده است [2].

۴. تکنیک های بهینه سازی

۴.۱ توجیه بهینه سازی

بهینه سازی فرآیندی است که شامل برنامه ریزی جامع، اجرا و کنترل فرایند بهبود مستمر، برای رسیدن به سطوح بالاتری از موفقیت یک جامعه است. در هنگام بهینه سازی، شرایط اولیه با روش‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد و اطلاعات به دست آمده، برای بهبود بخشنیدن به یک فکر یا روش مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهینه سازی ابزاری ریاضی است که برای یافتن پاسخ بسیاری از پرسشها در خصوص چگونگی راه حل مسایل مختلف به کار می‌رود. در بهینه سازی از یافتن بهترین جواب برای یک مساله صحبت به میان می‌آید. لفظ بهترین به طور ضمنی بیان می‌کند که بیش از یک جواب برای مساله مورد نظر وجود دارد که البته دارای ارزش یکسانی نیستند. تعریف بهترین جواب، به مساله مورد بررسی، روش حل و همچنین میزان خطای مجاز وابسته است. بنابراین نحوه فرمول بندی مساله نیز بر چگونگی تعریف بهترین جواب تاثیر مستقیم دارد [9].

۴.۲ الگوریتم بهینه سازی ژنتیک

الگوریتم‌های ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کنند. سپس از یک معیار برای پیدا کردن بهترین مجموعه ضرایب و ثابت‌ها جهت مدل کردن بهره می‌برد. با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک ما یک ابر فرمول یا طرح، تنظیم و آماده به اجرا خواهیم داشت. سپس داده‌هایی برای گروهی از متغیرهای مختلف فراهم می‌آوریم. بعد از آن الگوریتم ژنتیک اجرا خواهد شد، که بهترین تابع و متغیرها را مورد جستجو قرار می‌دهد. روش کار الگوریتم ژنتیک به طور فریبنده‌ای ساده، خیلی قابل درک و به طور قابل ملاحظه‌ای روشی است که ما معتقدیم حیوانات به این فرم تکامل یافته‌اند. هر فرمولی که از طرح داده شده در بالا تبعیت کند، یک فرد از جمعیت ممکن تلقی می‌شود. موتور الگوریتم ژنتیک از یک جمعیت اولیه فرموله می‌شود. هر فرد در برابر مجموعه‌ای از داده‌های مورد آزمایش قرار می‌گیرند و مناسبترین آنها (شاید ۱۰ درصد از مناسبترین‌ها) باقی می‌مانند، بقیه کنار گذاشته می‌شوند [7]. مناسبترین افراد با هم جفتگیری و تغییر کرده‌اند. مشاهده می‌شود که با گذشت از میان تعداد زیادی از نسلها، الگوریتم ژنتیک به سمت ایجاد فرمول‌هایی که دقیقتر هستند، میل می‌کنند. در حالی که شبکه‌های عصبی هم غیرخطی و غیرپارامتریک هستند، جذابیت زیاد الگوریتم‌های ژنتیک این است که دارای نتایج نهایی قابل ملاحظه‌ترند. فناوری الگوریتم‌های ژنتیک همواره در حال بهبود است، برای مثال با مطرح کردن معادله ویروس که در کنار یک فرمول آمده و برای نقض کردن فرمول‌های ضعیف تولید می‌شوند که در عمل جمعیت را کلأً قوی‌تر می‌سازند.

۵. مسئله مکان یابی واحدهای فازوری و مفهوم مشاهده پذیری سیستم قدرت

۵.۱ تعریف مسئله مکان یابی واحدهای فازوری

هدف از مکان یابی مرسوم واحدهای اندازه گیری فازور، تعیین متغیرهای تصمیم گیری، که شامل تعداد و مکان واحدهای اندازه گیری فازوری به گونه ای است که شبکه دارای مشاهده پذیری کامل و کمترین هزینه به سیستم تحمل گردد و نکته مهم تر این که توجه و لحاظ فنی مکان احداث واحد فازوری در تمام شین ها از قیودی است که در عمل حصول میابد [7].

۵.۲ تعریف مسئله مشاهده پذیری سیستم قدرت

مشاهده پذیری، ساختاری کنترلی به معنای معین بودن مجموعه متغیرهای اساسی به نحوی است که تخمین حالت شبکه، بدون کمترین کاستی انجام گیرد.

به طور کلی برای اینکه بتوان از ادوات PMU برای مشاهده پذیری سیستم قدرت استفاده شود لازم است که این واحدها در نقاط خاصی در شبکه نصب و راه اندازی گردند و که در عین مینیمم بودن تعداد مورد نیاز آنها، بیشترین مشاهده پذیری برای سیستم قابل حصول باشد. در واقع مساله مورد نظر یک مساله بهینه سازی می باشد که در مقالات و پژوهش های مختلف از الگوریتم های متنوعی برای یافتن بهترین پاسخ استفاده شده است. متغیرهای شبکه معمولاً فازور ولتاژ شین ها تلقی می شود. به طور کلی مشاهده پذیری به دو صورت عددی و توپولوژیکی قابل تقسیم است [۳].

۵.۲.۱ روش عددی تحلیل مشاهده پذیری

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 به دست آورد. مدل خطی اندازه گیری که در اکثر تخمین حالت ها مورد استفاده قرار میگیرد به صورت زیر تعریف میشود.

$$Z = HX + e \quad (5)$$

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 گیری ها بوده و e بردار خطای اندازه گیری بصورت $m \times 1$ میباشد [۸].

با تجزیه بردار Z تجزیه بردارهای ولتاژ $M_V \times 1$ و جریان $M_I \times 1$ و (Z_V, Z_I) و تجزیه بردار X به زیر بردارهای اندازه گیری شده $N_M \times 1$ و اندازه گیری نشده $N_C \times 1$ ، (V_C, V_M) رابطه بالا به صورت زیر در می آید:

$$\begin{bmatrix} Z_V \\ Z_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & 0 \\ Y_{IM} & Y_{IC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_M \\ V_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_V \\ e_I \end{bmatrix} \quad (6)$$

بطوریکه I ماتریس همانی، YIM و YIC بیانگر ادمیتانس سری و شنت شبکه میباشند. با صرف نظر عناصر شنت، ماتریس H بصورت زیر خلاصه میشود:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ M_{IB}Y_{BB}A_{MB}^T & M_{IB}Y_{BB}A_{CB}^T \end{bmatrix} \quad (7)$$

در اینجا MIB ماتریس تلاقي اندازه گیری شاخه که شامل اندازه گیری فازور جريان شاخه ها بصورت $M_I \times b$ میباشد، YBB یک ماتریس قطری $b \times b$ شامل ادمیتانس شاخه ها، AMB و ACB به ترتیب زیر ماتریس اندازه گیری شده $N_M \times b$ و زیر ماتریس تلاقي گره و شاخه بصورت $N_C \times b$ میباشد[۸]. در روش های سنتی تحلیل مشاهده پذیری با بررسی فرمول زیر انجام میشود:

$$Rank(H) = 2n - 1 \quad (8)$$

باتوجه به رابطه (8) در صورتی که ماتریس ژاكوبین از درجه کامل باشد شبکه مشاهده پذیر میباشد و تخمین حالت انجام میشود[5].

۵.۲.۲ روش توپولوژیک تحلیل مشاهده پذیری

روش تحلیل مشاهده پذیری بر مبنای اصول زیر میباشد:

- ۱- شینهایی که PMU روی آنها قرار گرفته، دارای فازور ولتاژ معلوم میباشند. همچنین جريان خطوطی که به شین دارای PMU متصل هستند نیز مشخص می باشد.
- ۲- در صورتی که فازور ولتاژ یک شین و جريان خطی که متصل به شین مذکور است مشخص باشد، ولتاژ شین طرف دیگر نیز قابل محاسبه است.
- ۳- در صورتی که ولتاژ شینهای ۲ سر یک خط مشخص باشد، آنگاه جريان آن خط قابل محاسبه می باشد.
- ۴- در صورتی که جريان تمام خطوط منتهی به شین تزریق صفر بجز یکی مشخص باشد، بدلیل قانون KCL فازور جريان نامعلوم قابل محاسبه است.

بر مبنای اصول ذکر شده فازور ولتاژ شینی که PMU روی آن نصب شده است همچنین جريان تمام شاخه هایی که به آن شین وارد میشود بطور مستقیم اندازه گیری میشود[11]. در این مقاله از روش توپولوژیکی برای تحلیل مشاهده پذیری استفاده شده است که در قسمت بعد تشریح شده است.

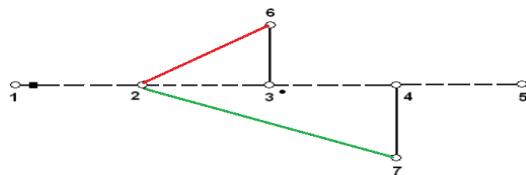
۵.۳ توجیه مسئله مشاهده پذیری سیستم قدرت

۵.۳.۱ مفهوم شین تزریق جريان صفر

در این قسمت با آوردن یک مثال مفهوم شین تزریق جريان صفر را روشن خواهیم کرد. یک سیستم ۷ شینه شکل ۱ را در نظر بگیرید.

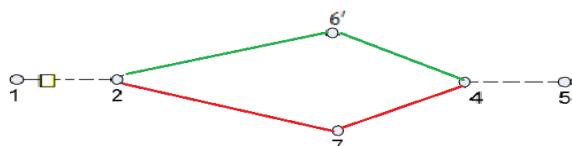
که ماتریس تلاقي A در این حالت بصورت زیر می باشد.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



شکل ۱- سیستم ۷ شینه

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. 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 ۶ معین باشد، فازور ولتاژ شین چهارم با نوشتن k_{cl} در گره ۳ محاسبه می شود. بنابراین در تپولوژی شبکه میتوان شینی که شامل اندازه گیر تزریقی می باشد و یا شین تزریق صفر را با یکی از شین های مجاور ترکیب کرد. شکل ۲ همان شبکه قبلی میباشد در حالتی که شین های ۳ و ۶ با هم ترکیب شده اند و شین جدید جایگزین آنها شده است [3].



شکل ۲- سیستم ۷ شینه پس از ترکیب شین های ۳ و ۶

ماتریس تلاقي B در این حالت بصورت زیر در می آيد.

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

۵.۳.۲ مشاهده پذیری در یک شبکه

PMU نصب شده در یک شین قادر است فازور ولتاژ آن شین و همچنین فازور جریان کلیه شاخه هایی که به آن شین متصل هستند را محاسبه کند. بنابراین با نصب PMU در نقاط استراتژیک شبکه میتوان اطلاعات مورد نیاز برای مشاهده پذیری سیستم را بدست آورد. همان طور که قبلا ذکر شد، دو هدف مشاهده پذیری شبکه برای تخمين حالت و کاهش تعداد واحد PMU دو هدف اساسی محسوب میشوند.

برای سیستم n شینه مسئله جایابی بهینه با فرمول (۹) بیان میشود.

که در رابطه (۹)، n تعداد شین های سیستم، W ماتریس هزینه یا ماتریس وزنی شین ها که بر حسب اهمیت هر شین می تواند تغییر کند و عموماً برابر با ماتریس $n \times n$ بیان می شود.

$$\begin{aligned} \min & \sum_{i=1}^n w_i x_i \\ \text{s.t.} & \quad y = Ax \geq b \end{aligned} \quad (9)$$

و b و A به صورت زیر تعریف می شود:

$$A_{n \times n}(i, j) = \begin{cases} 1 & i = j \\ 1 & \text{if buses } i \text{ and } j \text{ are connected} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

$$x_{n \times 1}(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if PMU installed in bus } i \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (11)$$

$$b = [11111\dots11]^T \quad (12)$$

نامعادله (9) جهت مشاهده پذیری کامل سیستم مورد استفاده قرار می گیرد و سطر i ماتریس Ax عبارت است از تعداد دفعات مشاهده پذیری شین i ام که باید حداقل یک باشد[8].
چنان چه بیشینه بودن تعداد دفعات رؤیت پذیری را بخواهیم به عنوان یک قید جانبی بیان کنیم مطابق زیر فرمول بندی می شود:

شاخص از دست رفتن خط یا LOL به صورت معادله (13) بیان می شود:

$$LOL = \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq (w \times x)_{\max} \quad (13)$$

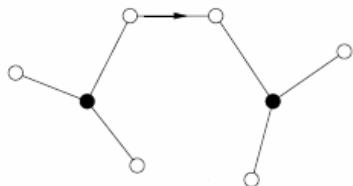
۵. جایابی بهینه PMU ها با در نظر گرفتن باس های بدون تزریق

۵.۴.۱ قواعد بررسی مشاهده پذیری شبکه

طرح هایی که برای جانمایی PMU در شبکه ای قدرت پیشنهاد می شوند باید کل شبکه ای انتقال را در مرکز دیسپاچینگ مشاهده پذیر کنند. اگر تعداد کافی کانال آنالوگ ورودی برای اندازه گیری ولتاژ باس و جریان خطوط منشعب از آن، موجود باشد، مشاهده پذیری شبکه توسط PMU ها با استفاده از چهار قانون زیر بررسی می شود[4]:



شکل ۳ - قانون اول جایابی pmu



شکل ۴- قانون سوم جایابی pmu

قانون اول) به هر شینی که در آن PMU نصب شده، یک اندازه گیری فازور ولتاژ و به هریک از شاخه های متصل به آن یک اندازه گیری جریان اختصاص داده میشود. (شکل ۳)



شکل ۵- قانون چهارم جایابی pmu

قانون دوم) به هر یک از شین هایی که بصورت مستقیم به شین دارای PMU متصل هستند، یک اندازه گیری ولتاژ مجازی اختصاص داده می شود.

قانون سوم) به هر شاخه ای که بین دو شین با ولتاژ های معلوم (اندازه گیری مستقیم یا مجازی) یک اندازه گیری جریان مجازی اختصاص داده می شود(شکل ۴) با اینکار اتصال ناحیه های مشاهده پذیر به هم میسر میگردد.

قانون چهارم) به هر شاخه ای که جریان آن با استفاده از قانون کیرشهف قابل محاسبه است یک اندازه گیری جریان مجازی اختصاص داده می شود. شکل (۵) چنین حالتی را نشان می دهد . در این شکل دایره توپر نشان دهنده ی شین دارای PMU می باشد. این قانون برای شین های تزریق صفر قابل اعمال است. (اگر در یک شین با تزریق صفر جریان همه شاخه ها به غیر از یکی معلوم باشد جریان شاخه آخر قابل محاسبه است).

۶. مطالعات عددی و نتایج

از نظر ریاضی مساله مکان یابی بهینه واحدهای اندازه گیری فازوری از درجه غیرخطی بودن بالایی برخوردار است و یک مساله بهینه سازی پیچیده است که نقاط بهینه محلی زیادی دارد. برای اعمال روش الگوریتم ژنتیک در جایابی PMU ها، تابعی در نرم افزار Matlab تعریف شده است که به کمک آن می توان پاسخ مطلوبی برای مسائل مقید با اینتری ارائه نمود. این تابع با گرفتن چند ورودی به شکل ماتریس های A,B ، پاسخی را در خروجی می دهد به صورت ماتریس X که فقط شامل صفر و یک می باشد[12]. الگوریتم ژنتیک که از موثرترین روش های تکاملی جهت حل مسایل بهینه سازی می باشد میتواند انتخاب خوبی باشد چون که به گرادیان وابسته نبوده و قابلیت دستیابی به پاسخ بهینه مطلق را دارد.

حل این مساله با الگوریتم ژنتیک در گام های زیر انجام می گیرد:

گام (۱) تشکیل ماتریس اتصال A

گام (۲) مقدار دهی پارامتر های الگوریتم ژنتیک (تعداد جمعیت، تعداد والدین و تعداد تکرارها).

گام (۳) تشکیل یک جمعیت اولیه با اینتری تصادفی که کاندیداهای پاسخ نهایی باشند.

گام (۴) تغییر جمعیت اولیه جهت ارضای قید.

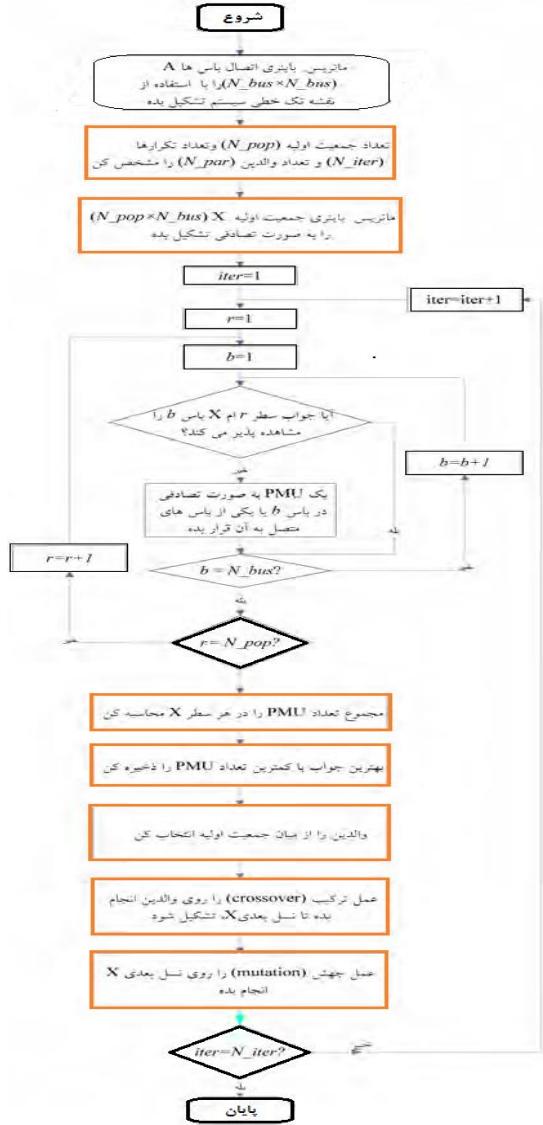
گام (۵) ذخیره بهترین جواب با حداقل تعداد PMU در هر گام.

گام (۶) تشکیل والدین از جمعیت اولیه و انجام ترکیب جهت تولید جمعیت جدید (crossover).

گام (۷) جهش ژن ها به صورت تصادفی (انتخاب تصادفی تعدادی از شین ها در هر مرحله و تغییر وضعیت صفر یا یک بودن آن).

گام (۸) در صورتی که تعداد تکرارها به مقدار تعیین شده نرسیده باشد به گام چهارم رفته و در غیر این صورت الگوریتم خاتمه یافته است.

شکل (۶) فلوچارت استفاده از الگوریتم ژنتیک را برای حل مساله جایابی بهینه PMU نشان می دهد.



شکل ۶- فلوچارت استفاده از الگوریتم ژنتیک برای جایابی PMU

در طرح پیشنهاد شده قیود مشاهده پذیری در ۴ حالت بررسی میشود: 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 تزریق صفر) ۳- استفاده از PMU به همراه اندازه گیر تزریقی و اندازه گیر جریانی ۴- استفاده از دو عدد pmu در هر باس (در مواردی که به هر دلیل خط دچار قطع شود).

مسئله مکان یابی چنددهفه واحدهای اندازه گیری فازور برای شبکه های IEEE 14 باس، ۳۰ باس و نیز ۵۷ باسه انجام شده که اطلاعات اولیه شبکه های مورد مطالعه در این مقاله در جدول (۱) آمده است.

بعد از اینکه مکان یابی اولیه به صورت تصادفی (کمترین تعداد) انتخاب شد، شرط مشاهده پذیری چک می شود در صورتی که شبکه مشاهده پذیر نبود دوباره جایابی صورت می گیرد. در صورتی که شبکه مشاهده پذیر بود حالت را در نظر می گیریم که اختشاشی (از دست رفتن خط) در شبکه رخ دهد، ما موقعیت هایی را می خواهیم که در صورت بروز اختشاش نیز همچنان شبکه مشاهده پذیر بماند (در این حالت باز مشاهده پذیری را چک می کنیم و بهترین جوابها ذخیره می شوند تا به تعداد تکرار مورد نظر برسیم) [4].

کار انجام شده شامل سه گونه شبیه سازی میباشد. گروه اول با در نظر گرفتن شین های تزریق صفر، گروه دوم بدون در نظر گرفتن آنها و کد نویسی آخر مریبوط به قید جدید (از دست رفتن خط) می باشد. در جدول ۲ نتایج جایابی در دو حالت معمولی با حضور و بدون حضور شین تزریق صفر برای سه شبکه مورد مطالعه آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات سیستم های مورد مطالعه

سیستم مورد مطالعه	تعداد شاخه	شین های تزریق صفر
IEEE ۱۴ شینه	۲۰	۷
IEEE ۳۰ شینه	۴۱	۶، ۹، ۱۱، ۲۵، ۲۸
IEEE ۵۷ شینه	۷۸	۴، ۷، ۱۱، ۲۱، ۲۲، ۲۴، ۲۶، ۳۴ ۳۶، ۳۷، ۳۹، ۴۰، ۴۵، ۴۶، ۴۸

شبیه سازی سیستم های IEEE استاندارد با هدف پیدا کردن تعداد PMU های نصب شده در شین های سیستم برای به دست آوردن بیشترین مقدار مشاهده پذیری می باشد. مسئله پهنه سازی به دست آوردن کمترین تعداد PMU به گونه ای است که مشاهده پذیری سیستم در بیشترین حالت باشد.

جدول ۲- نتایج مکان یابی PMU در سه شبکه در دو حالت با حضور و بدون حضور شین تزریق صفر

سیستم مورد مطالعه	تعداد شین تزریق صفر	تعداد شاخه	PMU
			بدون در نظر گرفتن شین تزریق صفر
IEEE ۱۴ شینه	۱	۳	۴
IEEE ۳۰ شینه	۵	۷	۱۰
IEEE ۵۷ شینه	۱۵	۱۳	۱۷

جدول ۳- شماره شین های محل قرار گیری PMU ها

سیستم مورد مطالعه	با در نظر گرفتن شین تزریق صفر	بدون در نظر گرفتن شین تزریق صفر	محل قرار گیری PMU
IEEE ۱۴ شینه	۹-۶-۲	۱۳-۱۰-۷-۲	
IEEE ۳۰ شینه	۲۷-۲۴-۱۹-۱۲-۱۰-۳-۲	۳۰-۲۳-۱۹-۱۸-۱۲-۱۱-۱۰-۷-۵-۳	
IEEE ۵۷ شینه	۲۹-۲۵-۲۰-۱۵-۹-۴-۱ ۵۶-۵۳-۵۰-۴۷-۳۸-۳۲	۵۳-۵۰-۴۷-۴۱-۳۹-۳۸-۳۶-۳۲-۲۸-۲۴-۲۲-۱۹-۱۵-۹-۷-۴-۱	

در مسائل بهینه سازی با توجه به زیاد بودن تعداد متغیر ها و بعضاً بیشتر بودن مجھولات از تعداد معادلات، معمولاً حل مسئله به الگوریتم های بهینه سازی سپرده می شود. در این صورت وظیفه الگوریتم پیدا کردن بهترین جواب برای مسئله می باشد. بر این اساس با یک سری فرض های اولیه مسئله برای حالت های زیادی حل می شود. سپس جواب بهینه با توجه به تابع هدفی که تعریف شده است انتخاب شده و اعلام می شود [6].

مطابق استاندارد حوادث، ۴ ریسک از جمله ریسک رویداد طبیعی، ریسک در بخش زیست محیطی، ریسک در گروه ایمنی فنی و ریسک در بخش بهداشتی از جمله عوامل اصلی در ایجاد قید از دست رفتن خط نقش دارند [14].

برای رعایت کردن قید جدید، مستلزم هزینه‌ی بیشتر برای رعایت قید و نهایتاً رؤیت پذیری کامل سیستم هستیم. قبل از این صورت بود که تمام باس‌ها باید تحت رویت حداکثریک عدد PMU قرار می‌گرفت و این رویت پذیری باس‌ها بواسطه خطوط صورت می‌گرفت، و گاهی یک عدد PMU، چندین باس را تحت رویت قرار می‌داد. اما اگر یک خط به هر دلیلی از دست میرفت، رویت پذیری باسه متصل به خط هم ازبین میرفت. اما در این ایده جدید، با وقوع Loss of Line مورد نظر از سمت دیگر بوسیله خطوط مجاور که به U PMU دیگر متصل است، رویت پذیر می‌شود (هرباس حداقل تحت رویت دو عدد PMU قرار دارد)، درنتیجه همه باس‌ها تحت رویت پذیری قرار می‌گیرد، اما تعداد PMU افزایش می‌آید، یعنی در حقیقت مستلزم هزینه بیشتر می‌شویم.

نتایج به دست آمده در این روش پیشنهادی که مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی ژنتیک می‌باشد نشان دهنده این است که باز هم بهینه ترین جواب برای سه سیستم استاندارد مذکور به دست می‌آید. در جدول (۴) نتایج جایابی با قید از دست رفتن خط در دو حالت با حضور و بدون حضور شین تزریق صفر برای سه شبکه مورد مطالعه آورده شده است.

جدول ۴ - نتایج مکان یابی سه شبکه با قید از دست رفتن خط در دو حالت با حضور و بدون حضور شین تزریق صفر

سیستم مورد مطالعه	تعداد شین تزریق صفر	تعداد شین	تعداد PMU در حالت از دست رفتن خط
IEEE ۱۴ شینه	۱	۷	۷
IEEE ۳۰ شینه	۵	۱۳	۱۷
IEEE ۵۷ شینه	۱۵	۲۸	۳۴

نکته حائز اهمیت در این روش همگرا شدن سریع می‌باشد. با توجه به اهمیت روز افزون سرعت در حل مسائل مربوط به شبکه‌های برق این مزیت مهمی به شمار می‌آید [5].

با کمی دقیق در نتایج به دست آمده تاثیر جایابی بهینه را در شبکه‌های با وسعت بیشتر می‌بینیم.

در جدول زیر محل قرار گیری pmu در سه شبکه نیز نشان داده شده است.

جدول ۵- شماره شین های محل قرار گیری PMU ها در حالت از دست رفتن خط

محل قرار گیری PMU در حالت از دست رفتن خط	سیستم مورد مطالعه
بدون در نظر گرفتن شین تزریق صفر	با در نظر گرفتن شین تزریق صفر
۱۳-۱۰-۹-۶-۵-۴-۲	۱۳-۱۰-۹-۶-۴-۲-۱
-۲۷-۲۴-۲۲-۲۰-۱۸-۱۶-۱۵-۱۳-۱۲-۱۰-۷-۶-۳-۲-۱ ۲۹-۲۸	۳۰-۲۵-۲۴-۱۹-۱۸-۱۷-۱۵-۱۳-۱۲-۱۰-۶-۳-۱
-۲۸-۲۶-۲۵-۲۴-۲۲-۲۰-۱۹-۱۵-۱۴-۱۲-۹-۶-۴-۲-۱ -۴۷-۴۴-۴۳-۴۱-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۳-۳۲-۳۰-۲۹ ۵۶-۵۴-۵۳-۵۱-۵۰-۴۸	-۲۹-۲۸-۲۶-۲۵-۲۰-۱۹-۱۵-۱۴-۱۲-۹-۶-۳-۱ -۵۰-۴۸-۴۷-۴۴-۴۱-۳۸-۳۷-۳۵-۳۳-۳۲-۳۰ ۵۶-۵۴-۵۳-۵۱

نکته دیگر این که در شبکه استاندارد ۵۷ شینه IEEE همانطور که در جدول (۶) آورده شده بیشینه تعداد تکرار جستجو در الگوریتم پیشنهادی ۵۰ بار می باشد. که این مقدار بسیار کمتر از روش های دیگر می باشد. تعداد تکرار های این روش حدود ۹۰ درصد کمتر از روش های مشابه پیشنهاد شده برای حل چنین مسائلی می باشد که این مسئله می تواند باعث بالا رفتن سرعت می باشد.

با توجه به اینکه نصب PMU با هدف ایجاد مشاهده پذیری در سیستم می باشد بنابراین مسئله بهینه سازی مربوط به آن، به دست آوردن مکان کمترین تعداد PMU به ازای بیشینه بودن مشاهده پذیری می باشد. با این مقدمه بحث شین های تزریق صفر مطرح می شود. که با این روش میتوان اطلاعات بعضی از شین ها را به دست آورده و از نصب PMU در آن شین ها صرف نظر کرد. به عنوان مثال با توجه به نتایج به دست آمده از شبیه سازی که در جدول (۲) آمده است، نشان دهنده این است که تعداد PMU های به دست آمده برای شبکه استاندارد ۵۷ شینه از ۱۷ به ۱۳ کاهش یافته است.

جدول ۶- مشخصات روش ژنتیک پیشنهادی

۵۰	بیشینه تکرار
۸۰	درصد وراثت
۳۰	درصد جهش
۲۰۰	اندازه جمعیت

۷. نتیجه گیری
سناریوی اول

در این مقاله روشی جدید جهت مکان یابی بهینه PMU و مشاهده پذیری توپولوژیکی با استفاده از الگوریتمی مبتنی بر روش ژنتیک ارائه شده است. این روش در حالتی که بجز PMU، اندازه گیری های متداول از قبیل اندازه گیر تزریقی و اندازه گیر جریانی در شبکه موجود باشد نیز کاربرد دارد، فرآیند بهینه سازی در این روش ۳ هدف را دنبال میکند: ۱- کم کردن تعداد PMU مورد نیاز برای مشاهده پذیر کردن کل سیستم ۲- همچنین به ازای در نظر

گرفته شین های تزریق صفر سعی در کمینه سازی تعداد PMU های مورد نیاز شده است -۳- با وجود هر گونه خللی در هر خط، فوراً مسیر رؤیت پذیری از طروق دیگر دنبال شود.

سناریوی دوم

همانطور که در ابتدا ذکر شد نتایج شبیه سازی نشان میدهد، این روش با کمترین نیاز تکرار به بهترین جواب به دست آمده تا کنون دست می‌یابد که عملکرد بسیار مناسبی برای شبکه های مختلف دارا میباشد، یعنی خروجی به دست آمده از الگوریتم با دیدگاه های فنی و محیطی نیز ارزیابی می گردد و سپس کارفرما دارای یک آزادی عمل با توجه به محیط نصب تجهیز می باشد.

سناریوی سوم

با توجه به رخداد خروج خط،تابع هدف با قید جدید (از دست رفتن خط انتقال) بیان شده و از طرفی به منظور برآورده سازی قید جدید، مستلزم هزینه‌ی بیشتر برای رعایت قید و نهایتاً رؤیت پذیری کامل سیستم هستیم. همانطور که در بالا گفته شد، قبل ا تمام باس ها باید تحت رویت حداکثریک عدد PMU قرار می گرفت، رویت پذیری باس ها تحت ارتباط خطوط صورت می گرفت، و حتی یک عدد PMU، چندین باس را تحت رویت قرار می داد. اما اگر به هر دلیلی تحت ۴ ریسک مطابق استاندارد حوادث یک خط از دست میرفت، رویت پذیری باسه متصل به خط هم از بین میرفت. در مطلوب ترین راه، باسه مورد نظر از سمت دیگر بوسیله خطوط مجاور که به PMU دیگر متصل است، رویت پذیر میشود، (هر باس حداقل تحت رویت دو عدد PMU قرار دارد)، اما مستلزم هزینه بیشتر و تعداد PMU بیشتر شده، ولی در پایان همه باس ها تحت رویت پذیری قرار گرفته، البته در شبکه های با طراحی غیر استاندارد یا شبکه های فعلی در ایران که با سازوکار قدیم یعنی سیستم اسکادا طراحی شده بود، این هزینه چشمگیر تر و بزرگنمایی می کند.

۸. مراجع

- 1.Xiao Li; Scaglione, A.; Tsung-Hui Chang, "A Framework for Phasor Measurement Placement in Hybrid State Estimation Via Gauss–Newton," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol.29, no.2, pp.824,832, March 2014.
- 2.Neyestanaki, M.K.; Ranjbar, A.M., "An Adaptive PMU-Based Wide Area Backup Protection Scheme for Power Transmission Lines," *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol.6, no.3, pp.1550,1559, May 2015.
- 3.Gomez, O.; Rios, M.A.; Anders, G., "Reliability-based phasor measurement unit placement in power systems considering transmission line outages and channel limits," *Generation, Transmission & Distribution, IET*, vol.8, no.1, pp.121,130, Jan. 2014.
- 4.Koutsoukis, N.C.; Manousakis, N.M.; Georgilakis, P.S.; Korres, G.N., "Numerical observability method for optimal phasor measurement units placement using recursive Tabu search method," *Generation, Transmission & Distribution, IET*, vol.7, no.4, pp.347,356, April 2013.
- 5.Aminifar, F.; Fotuhi-Firuzabad, M.; Safdarian, A., "Optimal PMU Placement Based on Probabilistic Cost/Benefit Analysis," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol.28, no.1, pp.566,567, Feb. 2013.
- 6.Caro, E.; Singh, R.; Pal, B.C.; Conejo, A.J.; Jabr, R.A., "Participation factor approach for phasor measurement unit placement in power system state

estimation," *Generation, Transmission & Distribution, IET* , vol.6, no.9, pp.922,929, September 2012.

7.Sodhi, R.; Sharieff, M.I., "Phasor measurement unit placement framework for enhanced wide-area situational awareness," *Generation, Transmission & Distribution, IET* , vol.9, no.2, pp.172,182, 1 29 2015.08.26.

8.Azizi, S.; Dobakhshari, A.S.; Nezam Sarmadi, S.A.; Ranjbar, A.M., "Optimal PMU Placement by an Equivalent Linear Formulation for Exhaustive Search," *Smart Grid, IEEE Transactions on* , vol.3, no.1, pp.174,182, March 2012.

9.Peng Yang; Zhao Tan; Wiesel, A.; Nehorai, A., "Placement of PMUs Considering Measurement Phase-Angle Mismatch," *Power Delivery, IEEE Transactions on* , vol.30, no.2, pp.914,922, April 2015.

10. Amany El-Zonkoly,"Optimal meter placement using genetic algorithm to maintain network observability",ELSEVIER,2006.

11. B. Milosevic and M. Begovic, "Nondominated sorting genetic algorithm for optimal phasor measurement placement," *IEEE Trans. Power Systems* vol. 18, no. 1, pp. 69-75, Feb. 2003.

12. Koutsoukis, N.C.; Manousakis, N.M.; Georgilakis, P.S.; Korres, G.N., "Numerical observability method for optimal phasor measurement units placement using recursive Tabu search method," *Generation, Transmission & Distribution, IET* , vol.7, no.4, pp.347,356, April 2013.

13. Nazaripouya, H.; Mehraeen, S., "Optimal PMU placement for fault observability in distributed power system by using simultaneous voltage and current measurements," *Power and Energy Society General Meeting (PES), 2013 IEEE* , vol., no., pp.1,6, 21-25 July 2013.

۱۴. س.م. مظہری، ح. لسانی مکانیابی چند هدفه واحدہای اندازه گیری فازوری با در نظر گرفتن ارزش واقعی نایقینی ها در سیستم قدرت مبتنی بر انومناتای یادگیری سلولی "سیستم های هوشمند در مهندسی برق، سال سوم، شماره اول، بهار ۹۱"

Certificate

گواهی‌نامه ارائه مقاله



code: EMME-10101640104

ID: 164

بسمه تعالیٰ



سومین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین‌المللی
تروهش‌های کاربردی در
مهندسی برق، مکانیک و
مکاترونیک

3rd National Conference &
1st International Conference
on Applied Researches in
Electrical, Mechanical
& Mechatronic
Engineering

www.EMME.ir



سومین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین‌المللی تروهش‌های کاربردی در مهندسی برق، مکانیک و مکاترونیک

نویسنده انسانی: محمدی افروزه، علی اصغر قمی، علی رضا افشاری مقدم، سید شاهرضانی

دوسیمین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین‌المللی پژوهشی های کاربردی در برق، مکانیک و مکاترونیک،

مورخ ۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۴، با حضور ایشان ارائه گردید.

توفيق روز افرون شمارا در عرصه هاي علمي و اجرائي كشور عزيزان ايران آرزومنديم.



سیمه کتر علی جبار رشیدی
دیر علی کنفرانس