



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی برق

پروژه کارشناسی

عنوان: جایابی بهینه واحدهای اندازه گیری فازور (PMU) با استفاده از

الگوریتم شاخه و حد

استاد راهنما: جناب آقای دکتر ابوالفضل جلیوند

دانشجویان:

مریم مقیمی ان ۸۴۴۴۲۲۵۶

شبنم امینی ۸۴۴۴۲۲۷۹

تیرماه ۱۳۸۹

فهرست:

فصل اول: معرفی PMU	۶
۱-۱ مقدمه	۷
۲-۱ تاریخچه	۷
۳-۱ معرفی اسکادا	۸
۱-۳-۱ ضعف اساسی موجود در سیستمهای اسکادا	۸
۴-۱ مفهوم فازور	۹
۵-۱ معرفی PMU	۱۲
۱-۵-۱ ساختار PMU	۱۳
۲-۵-۱ کاربرد های PMU	۱۵
۱-۲-۵-۱ ساختار WAMS	۱۷
۲-۲-۵-۱ کاربردهای محلی	۱۹
۳-۲-۵-۱ کاربردهای سراسری سیستم	۲۰
۴-۲-۵-۱ محاسبه پارامترهای خط	۲۰
۵-۲-۵-۱ نمایش حرارتی خطوط انتقال	۲۱
۶-۲-۵-۱ تخمین حالت	۲۱
۷-۲-۵-۱ حفاظتهای خاص	۲۳
۷-۲-۵-۱ مطالعات امنیت و پایداری شبکه	۲۴
فصل دوم: جایابی بهینه PMU	۲۷
۱-۲ تابع هدف مسئله جایابی بهینه PMU	۲۸
۲-۲ مشاهده پذیری سیستم قدرت	۲۹
۳-۲ الگوریتم پیشنهاد شده برای مشاهده پذیری	۳۱
۱-۳-۲ حالت اول	۳۲
۲-۳-۲ حالت دوم	۳۴
۱-۲-۳-۲ روش اول (روش غیر خطی)	۳۴
۲-۲-۳-۲ روش دوم (روش توپولوژیکی)	۳۵
۳-۳-۲ حالت سوم	۳۶
۴-۲ جایابی PMU با استفاده از الگوریتم شاخه و حد	۳۷
۵-۲ نتایج شبیه سازی	۳۸
۱-۵-۲ مثال یک (شبکه ۷ شینه)	۳۸

۲-۵-۱-۱ حالت اول ۳۹

۲-۵-۱-۲ حالت دوم ۴۰

۲-۵-۱-۲ حالت سوم ۴۱

۲-۵-۲ مثال دو (شبکه ۱۴ شینه) ۴۲

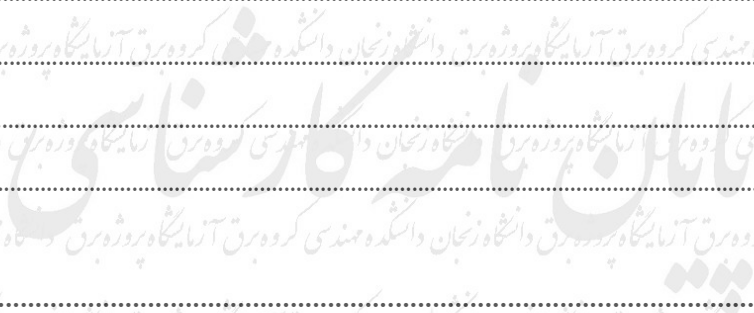
۲-۵-۲-۱ حالت اول ۴۳

۲-۵-۲-۲ حالت سوم ۴۴

۲-۵-۳ مثال سوم ۴۷

۲-۶ نتیجه گیری ۴۹

۳- مراجع ۵۰



چکیده:

امروزه تجدید ساختار در صنعت برق و عدم گسترش کافی در سیستم های انتقال انرژی الکتریکی باعث شده که تجهیزات و شبکه ی برق معمولاً در نزدیکی حدود خود مورد بهره برداری قرار گیرند. از آنجایی که هزینه گسترش شبکه های برق بالا است، لذا برای مقابله با احتمال ناپایداری سیستم، مهندسان سیستم های قدرت به فکر تقویت سیستم های پایش افتاده اند تا از این طریق از بروز ناپایداری جلوگیری کنند. یکی از تجهیزاتی که در این راستا مورد توجه روزافزون قرار گرفته اند واحدهای اندازه گیری فازوری (Phasor Measurement Units) هستند. این واحدها سیگنال پالس ساعت خود را از طریق ماهواره های موقعیت یاب جهانی (GPS) دریافت می کنند و به سیگنال های اندازه گیری خود برچسب های زمانی اختصاص می دهند. این واحد با استفاده از این سیگنالهای سنکرون کننده، قادر به اندازه گیری فازور ولتاژ شین ها و فازور جریان خطوط منتهی به آن شین ها، خواهند بود.

در سال های اخیر کاربرد واحد های اندازه گیری فازور (PMU) در مونیترینگ و ایمنی سیستم قدرت مورد توجه بسیار قرار گرفته است و این مسئله به خاطر قابلیت های PMU در اندازه گیری فازوری همزمان (ولتاژ، جریان، توان، فرکانس و...) به صورت (Real Time) بر خلاف دستگاه های اندازه گیری متداول اسکادا می باشد. شرط لازم برای کنتری دقیق و موثر شبکه، جایی مناسب آنها میباشد. بهترین حالت استفاده از این واحدها استفاده از آنها در تمامی شینه های شبکه است، تا از این طریق بتوان اطلاعات دینامیکی شبکه را به طور همزمان در اختیار داشت. ولی به دلیل هزینه بالای این تجهیزات و عدم وجود امکانات مخابراتی در همه شینه های شبکه این امر تقریباً غیر ممکن به نظر می رسد.

در این پایان نامه ابتدا به معرفی واحدهای اندازه گیری فازوری پرداخته شده و سپس به چند مورد از کاربردهای این ادوات ها اشاره می شود. در ادامه مسأله بهینه سازی تعداد واحدهای اندازه گیری فازور و جایی بهینه آنها در شین های یک سیستم قدرت مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرد. علاوه بر مسایل اقتصادی اشاره شده، با توجه به این واقعیت که واحدهای اندازه گیری فازوری علاوه بر اندازه گیری ولتاژ شین ها، قادر به اندازه گیری فازور جریان خطوط منتهی به شین نیز هستند، بنابراین می توان با تجهیز گروهی از شین های شبکه به PMUها، کل شبکه را مشاهده پذیر کرد.

به منظور حل مسئله بهینه سازی تا به حال از الگوریتم های مختلف از جمله روش جستجو بر اساس لیست ممنوعه، روش آبرکاری فلزات (Simulated Annealing)، الگوریتم PSO و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در این پایان نامه یک الگوریتم جدید بر مبنای توپولوژی شبکه برای رسیدن به مشاهده پذیری کامل شبکه با استفاده از کمترین تعداد PMU بیان می شود و سپس از الگوریتم شاخه و حد برای حل مسئله بهینه سازی استفاده می شود. ترتیب مراحل ارائه شده به شرح زیر است:

الف: بیان تابع هدف مسأله ی جاییابی بهینه ی PMU

ب: تعریف مسأله ی مشاهده پذیری و بررسی روشهای مختلف

پ: الگوریتم پیشنهاد شده برای حل مسأله ی بهینه سازی

ج: شبیه سازی توسط نرم افزار مطلب و ارائه ی نتایج آن برای ۳ شبکه نمونه قدرت

ح: نتیجه گیری و بررسی عملکرد این روش و کارایی بالای این روش نسبت به دیگر روشها

فصل اول: آشنایی با

معرفی PMU

پیشرفت سریع سیستم‌های مخابراتی در جهان و ابداع روش اندازه‌گیری فازوری سنکرون به کمک

PMU و با استفاده از سیگنال همزمانی GPS تحول عظیمی در پایش و کنترل شبکه‌های گسترده و به هم

پیوسته قدرت ایجاد کرده است. رشد این تکنولوژی هنوز هم با شتاب قابل ملاحظه‌ای ادامه دارد به گونه‌ای

که در آینده نزدیک سیستم سریع کنترل هماهنگ شبکه که قادر به محدودسازی ادامه اغتشاشات وارده و

ممانعت از بروز ناپایداری‌هاست، بطور قطع جایگزین روشهای معمول و کم اثر کنترل محلی و امکانات

محدود سیستم‌های فعلی SCADA/EMS برای ایجاد سیستم‌های فراگیر کنترل زمان واقعی و همچنین

کنترل‌های کندتری نظیر کنترل ثانویه ولتاژ در شبکه‌های قدرت خواهد شد [۱].

۱-۲ تاریخچه ی بکارگیری سیستم‌های کسب اطلاعات و کنترل از راه دور:

بکارگیری سیستم‌های کسب اطلاعات و کنترل از راه دور از سال ۱۸۸۰ میلادی به بعد متداول گشت .

در آغاز سیستم کسب اطلاعات کاملاً جدا از سیستم کنترل بود . در سالهای ۱۹۲۰-۱۹۳۰ سیستم‌هایی که

بتوانند دو عمل دریافت و ارسال را توأم انجام دهند طراحی گردید؛ ولی تکنولوژی بکار رفته در تجهیزات آن

عمدتاً الکترومکانیکی بود. چون تجهیزات ایستگاه‌هایی که در خارج از مرکز قرار داشتند الکترومکانیکی

بودند برای کنترل و ارسال وضعیت تعداد محدودی از دستگاهها بکار می رفتند و نمی توانستند کمیت‌های

آنالوگ را انتقال دهند.

از سال ۱۹۶۰ به بعد با پیشرفت تکنولوژی کامپیوتر تحول اساسی در طراحی سیستم‌های نظارت و

کنترل بوجود آمد. این سیستمها که به نام سیستم‌های اسکادا معروفند، علاوه بر انتقال وضعیت دستگاهها،

کمیت‌های آنالوگ را نیز در سطحی وسیع به مرکز ارسال می نمایند و چنانچه در اثر وقوع حوادث و بروز

خطاها سیستم دچار اغتشاش و بهم خوردگی شود خطرات ناشی از این وقایع را کاهش داده و آنرا به حداقل

می‌رساند.

به منظور بالا بردن دقت اندازه گیری و کاهش خطای ناشی از غیر همزمانی داده های ارسال شده توسط اسکادا ، سیستم جدیدی به نام واحد اندازه گیری فازوری (PMU) در سال ۱۹۸۰ ابداع شد. این واحد با استفاده از سیگنال سنکرون کننده قادر به اندازه گیری فازور ولتاژ و جریان خطوط در یک شین می باشد. اولین نمونه تحقیقاتی از واحد های اندازه گیری فازوری در دانشگاه ویرجینیا تک و در سال ۱۹۸۸ ساخته شد. پس از آن شرکت های ABB و میکرو داین دست به تولید نمونه های تجاری از این واحد ها زدند. در

سال ۱۹۹۵ نیز اولین استاندارد جهت واحد های اندازه گیری فازوری ایجاد شد که با سه ویرایش آخرین نسخه آن در سال ۲۰۰۵ منتشر شده است [۱].

۳-۱ اسکادا چیست ؟

واژه اسکادا (SCADA) از مخفف عبارت (Supervisory Control And Data Acquisition) به مفهوم جمع آوری داده ، نظارت و کنترل همه جانبه بوجود آمده است. کنترل متمرکز را بصورت اعمال کنترل روی یک وسیله خاص برای تأیید عملکرد آن در جهت صحیح و برنامه ریزی از پیش تدارک دیده شده تعریف می کنند و عموماً در مورد سیستمهایی به کار می رود که عمل

"کنترل از راه دور" بر آنها اعمال می شود. طبیعی است کنترل یک وسیله یا سیستم، بدون داشتن اطلاعات دقیق از وضعیت آن ناممکن است. بنابراین کنترل متمرکز همیشه با یک سیستم جمع آوری اطلاعات توأم می باشد. به عبارت دیگر هر جا که یک مرکز از تعدادی "پایانه دور دست" اطلاعات دریافت کند و به آنها فرمانهایی ارسال کند یک سیستم اسکادا وجود خواهد داشت.

۱-۳-۱ ضعف اساسی موجود در سیستمهای اسکادا :

یکی از مسائل مهم در بهره برداری سیستم های قدرت حفظ امنیت آن است. بنابراین 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 خواهد کرد. بدون شک اولین قدم در راه

ارزیابی امنیت سیستم، نمایش شرایط بهره‌برداری فعلی آن بوده به نحوی که پس از بررسی آن، تصمیمات احتمالی لازم جهت حفظ شرایط عملکرد مطلوب اتخاذ شود.

برای مشخص کردن وضعیت فعلی سیستم از تخمین حالت استفاده می‌شود. هدف نهایی از اجرای تخمین حالت، نمایش متغیرهای شبکه است به نحوی که بهره‌بردار سیستم با استفاده از خروجی تخمین حالت، قادر به اجرای سایر اعمال نظارتی و کنترلی نظیر پخش بار بهینه و ارزیابی امنیت سیستم باشد.

ورودی برنامه تخمین حالت اندازه‌گیری‌های انجام شده در نقاط مختلف شبکه بوده و خروجی آن متغیرهای حالت سیستم است. فناوری تخمین حالت که در حال حاضر استفاده می‌گردد (SCADA/EMS) بر اساس اندازه‌گیری‌ها

کمیات اندازه‌گیری شده غیرسنکرون عمل می‌نماید.

به دلیل مشکلات فنی پیرامون همزمان‌سازی اندازه‌گیری‌های انجام شده در نقاط مختلف شبکه، این

اندازه‌گیری‌ها فاقد زاویه بود و شامل اندازه ولتاژ و توان تزریقی برخی باس‌ها و اندازه فلوی عبوری بعضی از

خطوط می‌شدند. اندازه‌گیری‌های فوق گرچه امکان حل مساله تخمین حالت را غالباً فراهم می‌سازند، اما بنا

بر دلایلی از جمله دوره اندازه‌گیری طولانی و داشتن روابط غیرخطی با متغیرهای حالت سیستم، موجب

کندی در زمان اجرای تخمین حالت شده و بعضاً نیز دقت آن را تحت‌الشعاع قرار می‌دهند. گسترش

تکنیک‌های سنکرون‌سازی بین نقاط مختلف، مشکلات فوق را برطرف کرده و منجر به پیدایش واحد

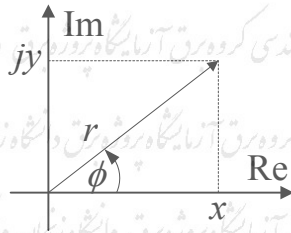
اندازه‌گیری فازوری (PMU) شد.

۴-۱ مفهوم فازور:

فازور یک عدد مختلط است که دامنه و فاز یک تابع سینوسی را بیان می‌کند.

$$z = x + jy \quad (1-1)$$

که در آن: $j = \sqrt{-1}$



شکل ۱-۱: نمایش فازور در صفحه اعداد مختلط

$$z = x + jy = r \angle \phi = r(\cos \phi + j \sin \phi) \quad (۲-۱)$$

فرم دکارتی $z = x + jy$
 فرم قطبی $z = r \angle \phi$
 فرم نمایی $z = re^{j\phi}$

$$e^{\pm j\phi} = \cos \phi \pm j \sin \phi \quad (۳-۱)$$

که در آن داریم:

$$\cos \phi = \operatorname{Re}(e^{j\phi}) \quad (۴-۱)$$

$$\sin \phi = \operatorname{Im}(e^{j\phi})$$

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \phi) = \operatorname{Re}(V_m e^{j(\omega t + \phi)}) \quad (۵-۱)$$

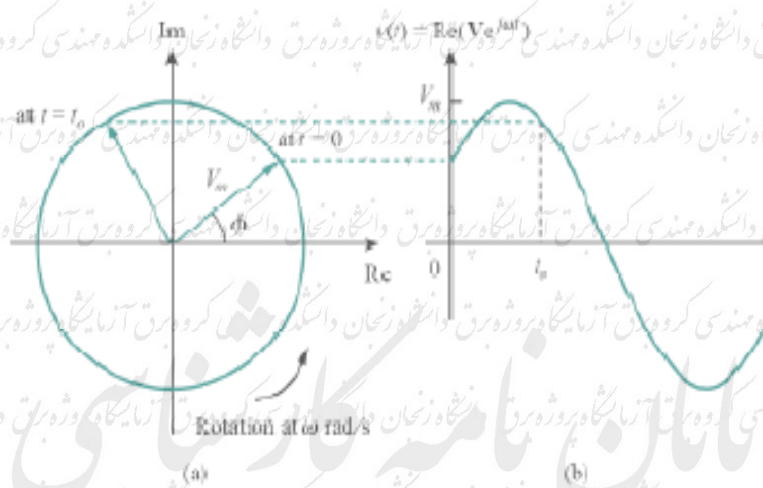
$$v(t) = \operatorname{Re}(V_m e^{j\phi} e^{j\omega t})$$

$$v(t) = \operatorname{Re}(V e^{j\omega t})$$

آنرا می‌توانیم به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$\mathbf{V} = V_m e^{j\phi} = V_m \angle \phi \quad (۶-۱)$$

که آن را سینور (Sinor) نیز می‌نامند.



شکل ۱-۲: رابطه بین فازور و تابع سینوسی

با حذف متغیر زمان از سیگنال سینوسی، نمایش فازوری بدست می آید.

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \phi) \longleftrightarrow V_m \angle \phi \quad (1-7)$$

جدول ۱-۱: تبدیل توابع سینوسی ولتاژ و جریان به فازور مغادله آنها

Sinusoid-Phasor transformation	
Time-domain representation	Phasor-domain representation
$V_m \cos(\omega t + \phi)$	$V_m \angle \phi$
$V_m \sin(\omega t + \phi)$	$V_m \angle (\phi - 90^\circ)$
$I_m \cos(\omega t + \phi)$	$I_m \angle \theta$
$I_m \sin(\omega t + \phi)$	$I_m \angle (\theta - 90^\circ)$

معمولاً فازورها به منظور نمایش امواج سینوسی حالت ماندگار که دارای یک فرکانس اصلی هستند، به مندی گروه

کار برده شده و ابزار پایه به منظور تحلیل مدارهای جریان متناوب (AC) هستند. حتی در صورتی که یک

سیستم قدرت در شرایط کاملاً پایدار نباشد، فازورها جهت توصیف رفتار آن غالباً مفید هستند. به عنوان

مثال هنگامی که سیستم قدرت تحت استرس‌های ناشی از نوسانات توان قرار می‌گیرد، نه تنها شکل موج‌های

ولتاژ و جریان در حالت ماندگار قرار نداشته، بلکه فرکانس سیستم نیز مقدار نامی خود را ندارد. تحت چنین

شرایطی، به علت اینکه تغییرات ولتاژ و جریان نسبتاً به آرامی صورت می‌گیرد، این تغییرات می‌تواند به

عنوان زنجیره‌ای از شرایط حالت ماندگار در نظر گرفته شده و فازورها می‌توانند به منظور توصیف رفتار شبکه

۶-۲ نتیجه گیری:

در این پایان نامه ضمن مروری بر مباحث مربوط به PMU موضوع جایابی بهینه PMUها در یک شبکه

قدرت در سه حالت مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. جایابی بهینه PMUها منجر به استفاده از

حداقل تعداد لازم PMU به منظور مشاهده پذیر بودن سیستم می گردد که خود اهمیت موضوع را به خوبی

نشان می دهد.

برای حل مسأله جایابی بهینه PMUها از روش شاخه و حد (Branch and Bound) استفاده شد. با

توجه به نتایج شبیه سازی به دست آمده با استفاده از نرم افزار مطلب، مشاهده شد که استفاده از الگوریتم

شاخه و حد باعث کاهش قابل توجه تعداد دفعات تکرار برنامه و در نتیجه افزایش شدید سرعت پاسخگویی

نشان داده شد که در مورد شبکه های با ابعاد بزرگ و تعداد شین های بیشتر استفاده از این روش

منجر به نتایج چشمگیرتری می شود که نشان از کارایی الگوریتم روش شاخه و حد می باشد.

۳- مراجع:

- [۱] سعید نیک اخلاق، "واحدهای اندازه گیری فازوری و کاربرد های آن در بهره برداری سیستم های قدرت"، دانشگاه زنجان، ماهنامه صنعت و برق آذر و دی ۸۸.
- [۲] لیلیا محمدیان، مهرداد طرفدار حق، "معرفی سیستم پایش و کنترل فراگیر (WAMS) و کاربردهای آن جهت جلوگیری از خاموشی در شبکه قدرت"
- [۳] حسین عبدالله زاده سنگرودی، محمد تقی عاملی، محمد رضا مشکوه الدینی، "تخمین حالت سیستم های قدرت در شرایط مختلف استفاده از واحدهای اندازه گیری فازوری".
- [۴] احمد احمدی، مرتضی امرادی، دکتر یوسف علی نژاد، "جایابی بهینه واحدهای اندازه گیری فازور و آزمایشگاه مشاهده پذیری کامل سیستم قدرت با استفاده از الگوریتم ژنتیک".
- [۵] حسین عبدالله زاده سنگرودی، محمد تقی عاملی، محمد رضا مشکوه الدینی "جایابی بهینه واحدهای اندازه گیری فازور برای مشاهده پذیری شبکه"، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق.
- [۶] حسین عسگریان ایبانه، سید ساوش گرامیان، کاظم مظلومی، "یافتن محل و تعداد بهینه واحدهای اندازه گیری فیزور با استفاده از روش برنامه ریزی باینری به منظور مشاهده پذیری شبکه"، پانزدهمین کنفرانس مهندسی برق.
- [7] B. Mohammadi Ivatloo, "Optimal Placement of PMUs for Power System Observability Using Topology Based Formulated Algorithms".
- [8] Bei Xu, A. Abur, "Observability Analysis and Measurement Placement For Systems With PMUs", Proceedings of the IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, October 2004, New York, NY.
- [۹] شهرام جدید، قدرت الله فانی، "جایابی بهینه واحدهای اندازه گیری فازوری در تخمین حالت هارمونیک سیستم قدرت"، سیزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، اردیبهشت ۱۳۸۴، زنجان.