دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان : فرمول بندی جامع جایابی بهینه PMU به روش ILP

استاد راهنما: دکتر کاظم مظلومی

نگارش: مناسیّاحی و آمنه ذبیحیان

مرداد ۸۹

بر خود می‌دانیم که از زحمات بی‌دریغ، تلاش‌های بی‌وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند اساتید گرامی گروه برق بویژه استاد گرامی جناب آقای دکتر مظلومی در راستای انجام این پروژه تشکّر و قدردانی نماییم.

به پاس تعبیرعظیم و انسانیشان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی، به پاس عاطفه سرشار و گرمای

امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است، به پاس قلب های بزرگشان

که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید و به پاس محبّت های بی

دریغشان که هرگز فروکش نمی کند،

این مجموعه را به **پدر و مادر عزیزمان** تقدیم می کنیم.

فهـرست مطالـب

موضوع | صفحه

چکیده.....۸

مقدمه.....۹

ساختار پروژه.....۹

اهداف پروژه.....۱۰

فصل اول- مفاهیم اولیه و لزوم انجام پروژه.....۱۳

مقدّمه.....۱۴

۱-۱- مفهوم فازور.....۱۵

۱-۲- منابع هماهنگ سازی.....۱۷

۱-۳- واحدهای اندازه گیر فازور.....۱۹

۱-۴- کاربرد واحدهای اندازه گیر فازور.....۲۲

۱-۴-۱-اندازه گیری فرکانس و فازور.....۲۲

۱-۴-۲-تخمین حالت.....۲۳

۱-۴-۳- پیش بینی ناپایداری.....۲۵

۱-۴-۴- رله های تطبیق پذیر.....۲۶

۱-۴-۵- کنترل بهینه.....۲۷

۱-۴-۶- کاربرد در نظارت بر کیفیت..... ۲۷
۱-۵- مشاهده پذیری..... ۲۸
۱-۶- برنامه ریزی خطی عدد صحیح..... ۲۸
۱-۷- شین تزریق صفر..... ۲۹
فصل دوم- تئوری مربوط به مکان یابی بهینه..... ۳۰
مقدّمه..... ۳۱
۲-۱- مساله بهینه سازی..... ۳۱
۲-۲- روش حل مساله..... ۳۲
۲-۲-۱-دیدگاه هایی درباره حل مسایل برنامه ربزی عددصحیح..... ۳۳
۲-۲-۲-مکان یابی یهینه به منظور مشاهده پذیری کامل شبکه..... ۳۷
۲-۲-۳-جایابی بهینه واحد های اندازه گیر فازور..... ۳۸
۲-۲-۳-۱-مدل سازی شین تزریق صفر..... ۴۰
۲-۲-۳-۲- تک خروج واحد اندازه گیر فازور..... ۴۲
فصل سوم- شبیه سازی و نتیجه گیری نهائی..... ۴۴
مقدّمه..... ۴۵
۳-۱- شبکه ۹ شینه..... ۴۵
۳-۱-۱-مرحله اول..... ۴۶

۳-۱-۲-مرحله دوم..... ۴۶
۳-۱-۲-۱-سال اول..... ۴۷
۳-۱-۲-۲-سال دوم..... ۴۸
۳-۱-۳-مرحله سوم..... ۴۸
۳-۱-۴-مرحله چهارم..... ۵۰
۳-۲- شبکه ۱۴ شینه..... ۵۱
۳-۲-۱-مرحله اول..... ۵۱
۳-۲-۲-مرحله دوم..... ۵۲
۳-۲-۲-۱-سال اول..... ۵۳
۳-۲-۲-۲-سال دوم..... ۵۴
۳-۲-۲-۳-سال سوم..... ۵۵
۳-۲-۳-مرحله سوم..... ۵۵
۳-۲-۴-مرحله چهام..... ۵۷
۳-۲-۴-۱-مدل سازی بدون در نظرگرفتن شین تزریق صفر..... ۵۷
۳-۲-۴-۲- مدل سازی با در نظرگرفتن شین تزریق صفر..... ۵۸
منابع و مراجع..... ۶۳

چکیده

از واحدهای اندازه گیر فازور جهت رویت پذیری شبکه استفاده می کنیم این کار به دلایل مختلفی صورت می پذیرد، مثلا، با از دست رفتن شبکه با مراجعه به اطلاعات ذخیره شده می توان نقص موجود را سریعتر برطرف کرد.

چون واحدهای اندازه گیر فازور تجهیزات گران قیمتی هستند و در همه پست ها امکانات ارتباطی کافی موجود نمی باشد، نمی توان در همه شین ها از این واحدها استفاده کرد و به تعداد واحدهای اندازه گیر کمتری نسبت به تعداد شین ها نیازمندیم پس به سراغ مسائل بهینه سازی رفتیم.

به منظور یافتن تعداد بهینه واحدهای اندازه گیر فازور در چارچوب برنامه ریزی خطی عدد صحیح عمل کرده و فرمولها و نامعادلات گوناگونی برای دستیابی به تعداد بهینه نوشته شد.

از آنجاییکه نمی توان همه واحدهای اندازه گیر فازور را یکجا تهیه کرد، باید به صورت مرحله به مرحله و طی بازه های زمانی دلخواه آنها را تهیه و نصب کرد.

با مدل سازی شین تزریق صفر می توان خروجی های بهینه سازی را کاهش داده، این امر با استفاده از روابط قانون اهم و قوانین کیرشهف صورت می پذیرد.

به منظور افزایش قابلیت اطمینان رویت پذیری شبکه در مقابل تک خروج واحد اندازه گیری فازور، این مورد نیز در محاسبات منظور شد .

مقدمه

یا فناوری اندازه گیری سنکرون کمیات فازوری شبکه های قدرت فناوری نسبتا" جدیدی می باشد و بهمین دلیل گروههای تحقیقاتی زیادی در سطح دنیا درباره کاربردهای آن فعالیت می نمایند. با پیشرفت سیستمهای مخابراتی امکان اندازه گیری همزمان فازور کمیتهای الکتریکی توسط واحد اندازه گیر فازور در سطح شبکه میسر شده و امکانات لازم برای پایش و کنترل زمان واقعی سیستمهای قدرت به دست آمده-است. یکی از راه حلهای آینده برای مونیتورینگ زمان حقیقی شبکه های قدرت، سیستم واحد اندازه گیر فازور می باشد که با کمک سیستم مکان یاب جهانی سیگنالهای زمانی بسیار دقیقی از اطلاعات شبکه های قدرت را جمع آوری و استفاده می نماید. گیرنده ماهواره ائی سیستم مکان یاب جهانی اطلاعات دقیقی از وضعیت ولتاژ سه فاز پستها و جریان خطوط، ترانسفورماتورها و بارها را جمع آوری و در اختیار واحد اندازه گیر فازور قرار میدهد. براساس این اطلاعات، مؤلفه مثبت ولتاژ و جریانها در لحظه زمانی اندازه گیری بطور دقیق در مقیاس میکروثانیه محاسبه شده و بدینوسیله زاویه فاز آنها استخراج می گردد.

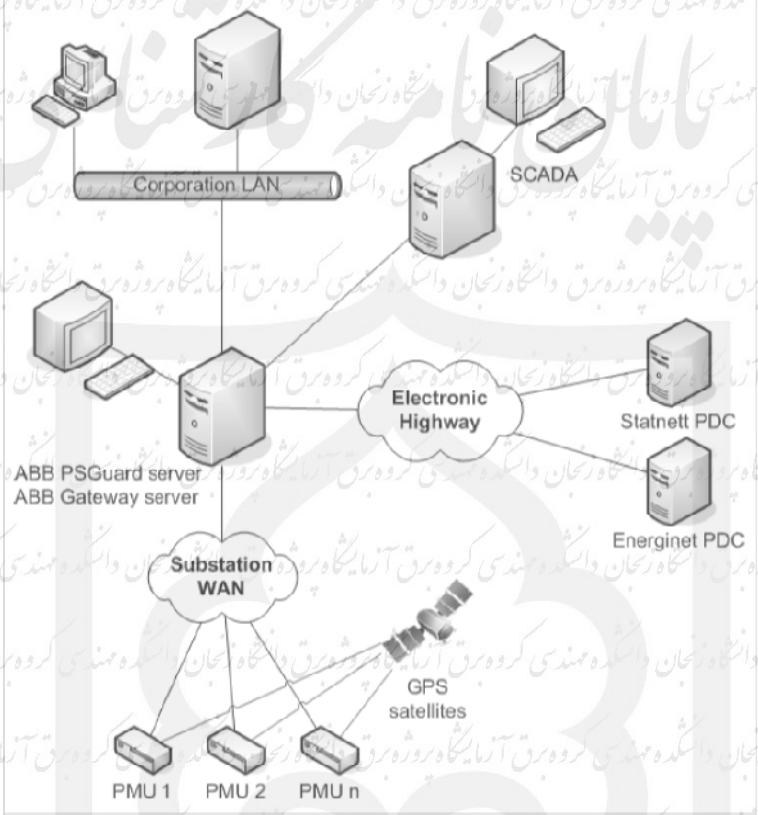
ساختار پروژه

به منظور رسیدن به اهداف پروژه این پایان نامه در سه فصل نوشته و تدوین شده است. فصل اول، مفاهیم اولیه و لزوم انجام چنین پروژه ای را تشریح میکند. فصل های بعدی به ترتیب زیر گردآوری شده است:

فصل دوم: در این فصل تئوری مربوط به مکان یابی بهینه که در این پایان نامه توسعه داده شده است، تشریح می شود.. در این فصل برنامه مکان یابی بهینه با استفاده از روش دقیقی طراحی می گردد. به منظور مشخص شدن روش ارائه شده، شبکه نمونه کوچک ۹ شینه در نظرگرفته می شود که مراحل اجرای برنامه بر

روی آن نشان داده خواهد شد. در ادامه روش مکان یابی بهینه ای ارائه خواهد شد که با به کاربردن آن مشاهده پذیری شبکه حتی در صورت خروج یکی از واحدهای اندازه گیر فازور، محفوظ بماند.

فصل سوم: دراین فصل با تکیه بر فصول اول و دوم، به شبیه سازی و نتیجه گیری نهایی پرداخته می شود.



شکل۱

اهداف پروژه

تخمین زنندگان حالت فازور ولتاژ باس ها را بر اساس اندازه گیری های قابل دسترسی و نیز آگاهی از توپولوژی شبکه در اختیار قرار می دهند . این اندازه گیری ها به وسیله واحدهای ترمینال راه دور[1] در پست های قدرت صورت گرفته و معمولا شامل توانهای جاری اکتیو و ری اکتیو ، توانهای تزریقی ، اندازه ولتاژ باس ها و جریان شاخه ها ست . اخیراً امکان استفاده از واحدهای اندازه گیر فازور در ایستگاه های قدرت فراهم

[1] - Remote Terminal Units(RTU)

شده است . به دلیل هزینهٔ نسبتاً بالای این دستگاه ها امکان کاربرد آن ها در تمام شین های سیستم قدرت وجود ندارد. یکی از نکات مهم در مورد کاربرد این دستگاه ها آن است که چگونه می توان نقطه بهینه به منظور نصب واحدهای اندازه گیر فازور را یافت.

یکی از اهداف این پروژه مکان یابی بهینه واحدهای اندازه گیر فازور است به گونه ای که بیشترین کاربرد را در تخمین حالت سیستم داشته باشند. این دستگاه ها دارای کاربردهای متنوعی هستند، اما مساله مکان یابی بهینه این دستگاهها در دو کاربرد مشخص بررسی و تحلیل می شوند. نخستین کاربرد امکان مشاهده پذیری کامل سیستم[1] بوسیله کاربرد حداقل واحدهای اندازه گیر فازور است. به این منظور برنامه مکان یابی بهینه ای نوشته شده است که امکان پیاده سازی بر روی شبکه های مختلف و پیچیده قدرت را دارد.

ایدهٔ به کارگیری اندازه گیری های مستقیم فازوری در کاربردهای مونیتورینگ در سیستم قدرت ایدهء جدیدی نیست. پیش از این کارهای انجام گرفته بوسیله Phadke و همکارانش، این کاربرد واحدهای اندازه گیر فازور را معرفی می نماید. این کار به منظور تعیین مکان بهینه واحدهای اندازه گیر فازور صورت گرفته و در آن ها فرض شده است که واحد اندازه گیر فازور نصب شده در شینی معین، امکان اندازه گیری فازوز ولتاژ آن شین و جریان تمام خطوط منتهی به آن شین را دارد. بنابراین امکان مشاهده کردن شبکه به کمک تعداد واحدهای اندازه گیر فازوری بسیار کمتر از تعداد کل شین های شبکه، وجود دارد.

یکی از نکاتی که در برنامه مکان یابی بهینه در نظر گرفته شده است، باس های بدون توان تزریقی (باس - های سوئیچینگ) و باس های با توان تزریق مشخص هستند. در نظرگرفتن این باس ها موجب کاهش تعداد قیود و در نتیجه کاهش تعداد واحدهای اندازه گیر مورد نیاز خواهد شد. به منظور تعیین قیود مسئله بهینه سازی شرایط اولیه سیستم قدرت در دو حالت در نظر گرفته شده است.

در نخستین حالت، اینگونه فرض می شود که در سیستم قدرت سابقه هیچگونه اندازه گیری مناسب فازوری با دقت کافی وجود ندارد. کاربرد این حالت بیشتر در شبکه هایی است که پیش از این سابقه نصب واحد های

[1] - Complete System Observability

اندازه گیر فازور و یا دستگاه هایی که امکان اندازه گیری فازوری با دقت مناسب را دارند، وجود داشته باشد. در این حالت، در نظرگرفتن اندازه گیری های قبلی موجب کاهش چشمگیر تعداد واحدهای اندازه گیر فازور مورد نیاز برای نصب در شبکه خواهد شد.

وجود اندازه گیری های قبلی موجب غیر خطی شدن قیود مساله بهینه سازی خواهد شد. در اینجا روشی ارایه می شود که به کمک آن بتوان قیود غیر خطی را خطی سازی نمود. در این جا روش مکان یابی ارائه می شود که با بکارگیری آن بتوان با خروج هریک از دستگاه ها مشاهده پذیری شبکه را حفظ نمود. خروجی های برنامه مربوط به شبکه نمونه ۹ شینه وشبکه ۱۴ شینه IEEE و شبکه ۵۷ شینه IEEE و شبکه ۴۱ شینه تهران میباشد.

یکی از نکاتی که در این برنامه مد نظر قرار گرفت، امکان مشاهده پذیری شبکه در صورت خروج یک واحد اندازه گیر فازور از مجموعه واحدهای اندازه گیر فازور شبکه است. در نهایت با بکارگیری همزمان مکان یابی به منظور مشاهده پذیری شبکه، چیدمانی از واحدهای اندازه گیر فازور حاصل می شود که دارای دو ویژگی اصلی است:

نخست، امکان مشاهده پذیری کامل شبکه را فراهم می نماید. دوم، در صورت خروج یک واحد اندازه گیر فازور مشاهده پذیری شبکه همچنان حفظ می شود.

در این پروژه مسائل مربوط به مکان یابی بهینه واحد اندازه گیر فازور مطالعه شده و الگوریتمی برای این منظور ارائه شده است. برای حل نامعادلات از نرم افزار LINDO استفاده شده است.

فصل اول

مفاهیم اولیه و لزوم انجام پروژه

مقدمه

صنعت برق شامل سه بخش تولید ، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی می باشد ، که این بخش ها با همکاری یکدیگر انرژی الکتریکی را در اختیار مصرف کننده ها قرار می دهند . آنچه که در این بین مهم می باشد ، کیفیت انرژی تحویلی به مصرف کننده و تداوم برق رسانی به آن می باشد .چرا که در اثر کوچکترین وقفه در امر تغذیهٔ مصرف کننده ها ، ممکن است خسارات جبران ناپذیری به وجود آید .

یکی از ابزارهای پایه در تحلیل مدارهای AC فازور می باشد . فازور معمولا به عنوان شکل موج سینوسی حالت دائم در فرکانس پایهٔ قدرت معرفی می شود . حتی اگر سیستم قدرت کاملا در حالت دائم نباشد ، فازورها باز هم به منظور تحلیل رفتار سیستم قدرت مفید خواهند بود . برای نمونه در صورتیکه براثرنوسانات توان سیستم قدرت دچار نوسان الکترومکانیکی شود ، شکل موج جریان و ولتاژ در حالت دائم خود نبوده و فرکانس قدرت نیز از حالت عادی خود خارج شده است . با این حال از آنجایی که تغییرات ولتاژ و جریان در شبکه به آرامی رخ می دهد، به منظور تشریح عملکرد شبکه، همچنان می توان از فازورها استفاده نمود . در این حالت تغییرات در شکل موج های جریان و ولتاژ به صورت مجموعه ای از حالت های دائم در نظر گرفته می شوند . اخیرا این نتیجه حاصل شده که حتی در شرایط تغییرات سریع که شکل موج حاوی میزان زیادی از اجزای گذرا خواهد بود ، باز هم امکان استفاده از شکل موج به منظور تعیین رفتار شبکه وجود دارد. بنابراین در کاربردهای رله و حفاظت امکان استفاده از یک و یا حتی نیم سیکل شکل موج فراهم شده است .

محاسبه زاویه فاز در مهندسی قدرت ، جز مسائل ضروری می باشد . پیشرفت های جدید در تکنیک های هماهنگ سازی زمانی به همراه تکنیک های اندازه گیری کامپیوتری ، امکان اندازه گیری تغییرات فازورها و نیز زوایای فاز را فراهم نموده است .

در این فصل مفاهیم کلی و واژگانی که در طول پروژه، با آنها سرو کار خواهیم داشت، به طور مختصر توضیح داده می شود.

۱- ۱ مفهوم فازور

شکل (۱-۱) نشان دهندهٔ شکل موج حالت دائم در فرکانس نامی قدرت است . اگر از لحظه صفر شروع به مشاهدهٔ این شکل موج نماییم ، می توانیم آنرا به صورت یک عدد مختلط بیان نماییم .

اندازهٔ این عدد مختلط برابر مقدار موثر سیگنال و زاویه آن برابرφ خواهد بود .در سیستم های اندازه گیری دیجیتال، نمونه های شکل موج در یک پریود ، از لحظه صفر شروع به اندازه گیری می شوند و سپس فرکانس پایه با استفاده از تبدیل فوریه گسسته و با توجه به رابطهٔ زیر محاسبه می گردد .

$$X = \sqrt{2}/N \sum_{K=1}^{N} X_K . e^{-j2k\pi/N} \qquad ۱-۱$$

که در آن N مجموع تعداد نمونه برداری ها در یک پریود ،X فازور و X_K نمونه های حاصل از شکل موج است .در این تعریف از فازور ، تعداد نمونه برداری ها دخیل است . بنابراین به منظور محاسبهٔ اجزا فرکانس پایه در صورت وجود اجزا گذرا در شکل موج قابل استفاده می باشد .

در صورت وجود تفاوت بین فرکانس نامی و فرکانس سیگنال ورودی ، زاویه و اندازهٔ فازور دچار خطا خواهد بود . با این وجود از این خطا می توان در محاسبهٔ فرکانس سیگنال ورودی استفاده نمود .

منابع و مراجع :

[1] A. G. Phadke, “Synchronised phasor measurement in power systems,” *IEEE Comput. Applicat. Power* , vol. ,no. 2, pp. 10-15, Apr. 1993.

[2] X. Dongjie, H. Renmu, W. Peng, and X. Tao, “Comparrision of several PMU placement algorithms for state estimation ,” in *Proc. Inst.Elect. Eng.E Int. Conf. Develop. Power Syst. Protection,* Apr. 2004,pp. 32-35.

[3] G. B. Denegri, N. Invernizzi, and F. Milano, “A security oriented approach to PMU positioning for advanced monitoring of a transmission grid ,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Power Syst. Technol.* , Oct. 2002, vol. 2,pp. 79 - 03.

[4] D.J.Brueni and L.S.Heath,“The PMU placement problem,”*SIMA J.Discrete Math*., vol. 19, no. 3,pp. 744-761, Dec. 2005.

[5] A. Abur and F. H.Magnago, “Optimal meter placement for maintaining observability during single branch outages,” *IEEE Trans. Power Syst*.,vol. 14, no. 4, pp. 1273-127 , Nov. 1999.

[6] B. Xu and A. Abur,“Observability analysis and measurement placement for systems with PMUs ,” in *IEEE Power Syst. Conf. Expo*., Oct.2004, vol. 2, pp. 943-946.