دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان : فرمول بندی جامع جایابی بهینه PMU به روش IQP

استاد راهنما: دکتر کاظم مظلومی

نگارش: بهروز عزیزمحمدی-عباس نظری

شهریور ۸۹

فهـرست مطالـب

موضوع | صفحه

چکیده.....۶

مقدمه.....۷

ساختار پروژه.....۷

اهداف پروژه.....۸

فصل اول- مفاهیم اولیه و لزوم انجام پروژه.....۱۲

مقدّمه.....۱۳

۱-۱- مفهوم فازور.....۱۴

۱-۲- منابع هماهنگ سازی.....۱۷

۱-۳- واحدهای اندازه گیر فازور ۱۹

۱-۴- کاربرد واحدهای اندازه گیرفازور.....۲۲

۱-۴-۱- اندازه گیری فرکانس وفازور.....۲۳

۱-۴-۲- تخمین حالت.....۲۴

۱-۴-۳-پیش بینی ناپایداری.....۲۶

۱-۴-۴- رله های تطبیق پذیر.....۲۷

۱-۴-۵- کنترل بهینه.....۲۸
۱-۴-۶- کاربرد در نظارت بر کیفیت.....۲۹
۱-۵- مشاهده پذیری.....۲۹
۱-۶- برنامه ریزی غیر خطی درجه۲.....۳۰
۱-۷- شین ابتدای شبکه شعاعی.....۳۰
۱-۸- شین شعاعی.....۳۰
فصل دوم- تئوری مربوط به مکان یابی بهینه.....۳۱
مقدّمه.....۳۲
۲-۱- مساله بهینه سازی و روش حل.....۳۲
۲-۱-۱-حالتی که یکی از خطوط انتقال از خط خارج شود.....۳۶
۲-۱-۲-حالتی که یکی از PMUها از شبکه خارج شود.....۳۷
۲-۱-۳-پیاده سازی فرمولبندی QPبر روی یک شبکه ۱۴ شینهIEEE.....۳۸
منابع و مراجع.....۶۳

دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق

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 غیرخطی[1] عمل کرده و فرمولها و نامعادلات گوناگونی برای دستیابی به تعداد بهینه نوشته شد.

از آنجاکه 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.

به منظور افزایش قابلیت اطمینان رویت پذیری شبکه در مقابل تک خروج واحد اندازه گیری فازور و همچنین خارج شدن یکی از خطوط انتقال،این موارد نیز در محاسبات منظور شده است .

[1] - Quadratic programming(QP)

مقدمه

فناوری اندازه گیری سنکرون کمیات فازوری شبکه های قدرت، فناوری نسبتا" جدیدی می باشد و به همین 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 مانیتورینگ 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 ای 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 می دهد. براساس این اطلاعات، مؤلفه مثبت ولتاژ و جریانها در لحظه زمانی اندازه گیری به طور دقیق در مقیاس میکروثانیه محاسبه شده و بدین وسیله 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 می کند. 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 و برنامه مکان یابی بهینه با استفاده از روش دقیقی طراحی می گردد. به منظور مشخص شدن روش ارائه شده، شبکه نمونه کوچک ۱۴شینه 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 رویت

پذیری شبکه حتی در صورت خروج یکی از واحدهای اندازه گیر فازور و همچنین خارج شدن یکی از خطوط انتقال ، محفوظ بماند.

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

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 راکتیو ، توانهای تزریقی ، اندازه ولتاژ باس ها و جریان شاخه هاست . اخیراً امکان استفاده از واحدهای اندازه گیر فازور در ایستگاه های قدرت فراهم 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[2] 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.

ایده به کارگیری اندازه گیری های مستقیم فازوری در کاربردهای مانیتورینگ در سیستم قدرت ایده جدیدی نیست. پیش از این کارهای انجام گرفته بوسیله Phadke و همکارانش، این کاربرد واحدهای اندازه گیر

[1] - Remote Terminal Units(RTU)
[2] - Complete System Observability

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.

در این جا روش مکان یابی ارائه می شود که با به کارگیری آن بتوان با خروج هریک از دستگاه ها و همچنین خارج شدن یکی از خطوط انتقال رویت پذیری شبکه را حفظ نمود. خروجی های برنامه مربوط به شبکه نمونه۱۴ شینه و شبکه ۵۷ شینه IEEE و شبکه ۴۱ شینه تهران میباشد.

یکی از نکاتی که در این برنامه مد نظر قرار گرفت، امکان رویت پذیری شبکه در صورت خروج یک واحد اندازه گیر فازور از مجموعه واحدهای اندازه گیر فازور شبکه و همچنین خارج شدن یکی از خطوط انتقال است. در نهایت با بکارگیری همزمان مکان یابی به منظور رویت پذیری شبکه، چیدمانی از واحدهای اندازه گیر فازور حاصل می شود که دارای سه 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.

سوم، در صورت خارج شدن یکی از خطوط انتقال 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 MATLABاستفاده 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 تغذیه 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 پایه 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

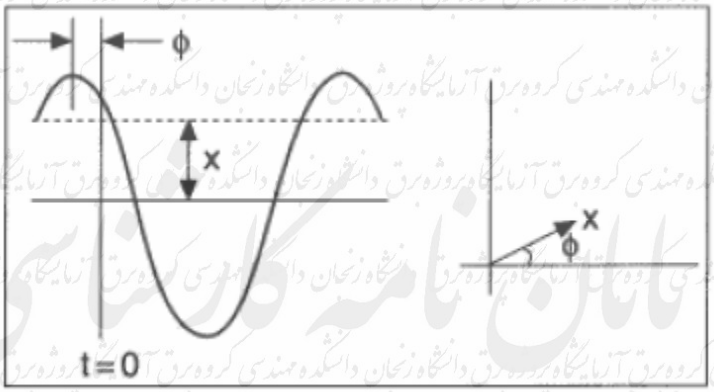
شکل (۱-۱) نشان دهنده شکل موج حالت دائم در فرکانس نامی قدرت است . اگر از لحظه صفر شروع به مشاهده این شکل موج نماییم ، می توانیم آنرا به صورت یک عدد مختلط بیان نماییم .

اندازه 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 رابطه 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 محاسبه 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 محاسبه فرکانس سیگنال ورودی استفاده نمود .



شکل ۱-۱:معرفی فازور شکل موج سینوسی

به منظور کاهش خطا در محاسبهٔ DFT[1] ، فیلتر شدن شکل موج ورودی ضروری خواهد بود .علت این امر آنست که شکل موج ورودی گاهی شامل فرکانس هایی خواهد بود که جز هارمونیک های فرکانس پایه نیستند . در این موارد محاسبهٔ فازور دچار خطا خواهد بود . در این موارد می توان اجزا غیر هارمونیکی را به صورت سیگنال خطا در نظر گرفت . در این صورت محاسبه فازور دچار عدم قطعیتی خواهد بود که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است . قابل توجه است که شکل موج به طور متناوب به کمک سیستم اندازه گیری نمونه برداری می شود و محاسبه فازور بر مبنای آخرین نمونه اندازه گیری شده ، انجام خواهد شد .

فازورها به طور جداگانه برای سه فاز اندازه گیری می شوند و فازور توالی مثبت بر مبنای رابطه زیر محاسبه می شود :

$$X_1 = \frac{1}{3(X_a + \propto X_b + \propto^2 X_C)} \quad \text{Where} \propto = e^{j2\pi/3} \qquad ۲-۱$$

[1]- Discrete Fourier Transform (DFT)

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

منابع و مراجع :

[1] A. G. Phadke, “Synchronised phasor measurement in power systems,” *IEEE Comput. Applicat. Power* , vol. 6,no. 2, pp. 10-15, Apr. 1993.

[2] IEEE power Engineering socicty, IEEE standard for synchrophasors for power system ,IEEE Std C37.118-2005.

[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. 798-803.

[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. 1273-1278, 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.