بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد برق قدرت

تعیین محل خطا در سیستم قدرت با استفاده از اطلاعات واحد اندازه‌گیری فازوری مبتنی بر اندازه‌گیری ناحیه گسترده

دانشجو : حسین دبیری

استاد راهنما : دکتر یوسف علی‌نژاد برمی

اسفند ۱۳۹۰

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی،

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش 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،

به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند،

و به پاس آموختن درسهای بزرگ زندگی که هیچگاه فراموش نمی شود،

این پایان نامه را به

مادر مهربانم و

پدر بزرگوارم

تقدیم می کنم.

چکیده:

دسترسی به پارامترهای مختلف شبکه قدرت در هر زمان یکی از گام هـای مـوثر بـه منظـور تـامین انرژی الکتریکی به صورت پایدار و با کیفیت مناسب است. یکی از ابزارهای مناسب و پرکاربرد در ایـن زمینـه استفاده از واحد های اندازه گیر فاز[1]است که در بسیاری از کشورهای مختلف دنیا به کار گرفته شده اند.

واحدهای اندازه گیر فاز، فازورهای ولتاژ و جریان را اندازه گرفته و با دقت بالا به آنها زمان اختصاص می دهند.به منظور زمان دارکردن اندازه گیری ها، واحدهای اندازه گیر فاز به گیرنده های GPS[2] مجهز شده اند.بنابراین هر واحد اندازه گیر فاز ، به طور متوالی فازورهای ولتاژ و جریان را اندازه گرفته و به آنها برچسب زمانی می زند. از آنجایی که کاربرد واحدهای اندازه گیر فاز در تمام شین های شبکه هزینهٔ بالایی در بر خواهد داشت و از نظر افتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود، تعداد و محل نصب دستگاههای اندازه گیر فاز را بگونه ای تعیین می کنند که با کمترین تعداد ممکن واحدهای اندازه گیری فازوری شبکه به صورت کامل مشاهده پذیر شود.

از دیرباز وقوع خطا و اتصال کوتاه یکی از مسائل اجتناب ناپذیر خطوط انتقال بوده است. این خطاها در شبکه های قدرت موجب بروز خساراتی سنگین در تجهیزات شده و تلفات جانی و مالی بسیاری را نیز در پی داشته اند. بنابراین می بایست تا جای ممکن خطا ها را سریع تر و صحیح تر تشخیص داده و اجازه باقی ماندن خطا به مدت طولانی در شبکه را ندهیم.

اتصال کوتاه موجب پیدایش اغتشاشاتی در سیستم قدرت می شود، که این مسئله به معنای به وجود آمدن امواجی با فرکانس های بالاتر از فرکانس شبکه و دارای شکل موج غیر سینوسی می باشد. در نتیجه به منظور تحلیل درست تر شبکه در حالت اتصال کوتاه از مدل های محاسباتی پیچیده ای که برای فرکانس های بالاتر مطرح شده است، استفاده می شود. با توجه به این که امکان وقوع اتصال کوتاه تک فاز نسبت به سایر خطا ها بیشتر می باشد، بنابراین مطالعات بیشتری بر روی این خطا انجام گرفته و از مدل قوس اولیه به منظور شبیه سازی دقیق تر این خطا استفاده شده است. به منظور شبیه سازی خط انتقال نیز از دقیق ترین مدل موجود یعنی مدل J.Marti استفاده شده است، که خط مورد نظر در این پایان نامه، خط انتقالی ۴۰۰kV با طول ۱۶۰کیلومتر، تک مداره و دارای باندل۴ تایی می‌باشد.

کلمات کلیدی: واحدهای اندازه گیری فازوری، سیستم موقعیت یاب جهانی، خط انتقال، مدل J-Marti، تشخیص نوع و مکان خطا،

[1]- Phasor Measurement Unit(PMU)
[2]- Global Positioning System

فصل ۱ ..... ۱
مفاهیم مقدماتی و اهداف پروژه ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- مفهوم فازور ۳
۱-۳- منابع هماهنگ سازی ۵
۱-۴- واحدهای اندازه گیری فازور ۵
۱-۵- کاربرد واحدهای اندازه گیری فازور ۶
۱-۵-۱- اندازه گیری فرکانس و فازور ۶
۱-۵-۲- تخمین حالت ۷
۱-۵-۳- پیش بینی ناپایداری ۸
۱-۵-۴- رله های تطبیق پذیر ۹
۱-۵-۵- کنترل بهینه ۱۰
۱-۵-۶- کاربرد در نظارت بر کیفیت توان ۱۱
۱-۵-۷- نمایش حرارتی خطوط انتقال ۱۱
۱-۵-۸- تشخیص خطا و پیدا کردن محل خطا ۱۱
۱-۵-۹- تصحیح و معتبرسازی مدل سیستم ۱۲
۱-۶- اهداف موردنظر این پروژه ۱۲
۱-۷- ساختار پروژه ۱۲
فصل ۲ ..... ۱۴
تکنیک های مکان یابی خطابر پایه ی داده های واحدهای اندازه گیری فازوری ۱۴
۲-۱- مقدمه ۱۵
۲-۲- روش های مکان یابی خطا بر پایه ی امواج سیار ۱۶
۲-۱-۱- روش های مکان یابی خطا بر پایه ی امواج سیار با استفاده از داده های یک انتها ... ۱۶
۲-۱-۲- روش های مکان یابی خطا بر پایه ی امواج سیار با استفاده از داده های دو انتها ۱۷
۲-۳- روش های مکان یابی خطا بر پایه ی امپدانس ۱۷
۲-۳-۱- روش های مکان یابی خطا بر پایه ی امپدانس با استفاده از داده های یک انتها ۱۷
۲-۳-۱-۱- روش راکتانسی ساده ۱۷
۲-۳-۱-۲- روش تاکاگی ۱۹
۲-۳-۱-۳- روش تاکاگی اصلاح شده ۱۹

۲-۳-۲- روش های مکان یابی خطا بر پایه ی توالی منفی با استفاده از داده های دو انتها.....۲۰
۲-۴- روش مکان یابی خطا بر پایه ی مدل خط انتقال با پارامترهای توزیعی با استفاده از داده های دو انتهای خط انتقال.....۲۱
۲-۵- جمع بندی.....۲۴
فصل ۳.....۲۵
تغییر در مدلسازی سیستم.....۲۵
۳-۱- مقدمه.....۲۶
۳-۲- مدل تونن متغیر.....۲۹
۳-۲-۱- روش به دست آوردن مدار معادل.....۳۱
۳-۲-۲- روش ریاضی به دست آوردن شاخه های مدار معادل.....۳۱
۳-۲-۲-۱- ضریب تصحیح.....۳۵
۳-۲-۲-۲- روش بهینه به دست آوردن ضریب تصحیح.....۳۶
۳-۲-۲-۳- نمونه عددی.....۳۶
۳-۳- مدل خط انتقال.....۴۱
۳-۳-۱- مدل Π خط انتقال.....۴۱
۳-۳-۲- مدل توزیعی خط انتقال- بی اغتشاش.....۴۲
۳-۳-۳- مدل توزیعی خط انتقال با مدل مقاومت فشرده.....۴۳
۳-۳-۴- مدل تابع وزنی Meyer-Dommel.....۴۳
۳-۳-۵- مدل Semlyen.....۴۴
۳-۳-۶- مدل J.MARTI خط انتقال.....۴۴
۳-۳-۷- شبیه سازی خط انتقال با مدل J.MARTI.....۴۵
۳-۴- مشخصه ی دینامیک قوس اولیه.....۵۱
۳-۴-۱- شبیه سازی قوس اولیه.....۵۴
۳-۵- جمع بندی.....۶۲
فصل ۴.....۶۴
شبیه سازی ها و تحلیل نتایج.....۶۴
۴-۱- مقدمه.....۶۵
۴-۲- شبیه سازی مدار به کمک نرم افزار EMTP.....۶۶
۴-۲-۱- شبیه سازی شبکه با پارامترهای ثابت.....۶۶

۴-۲-۲- شبیه سازی شبکه با پارامترهای متغیر ۶۶
۴-۲-۳- محاسبه ی مکان خطا ۷۳
۴-۳- نتایج شبیه سازی ها و تحلیل نتایج ۷۴
فصل ۵ ..... ۷۷
نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۷
۵-۱- مقدمه ۷۸
۵-۲- نتیجه گیری ۷۹
۵-۳- پیشنهادات ۷۹
منابع و مراجع ۸۱

فصل اول

مفاهیم مقدماتی و اهداف پروژه

۱-۱ مقدمه

امروزه نیاز جوامع بشری به انرژی الکتریکی امری بسیار ضروری می باشد. همگام با پیشرفت روزافزون سایر صنایع، نیاز این صنایع به انرژی الکتریکی بیشتر شده است، به طوری که امکان تصور زندگی و پیشرفت برای بشر، بدون در نظرگرفتن انرژی الکتریکی امری دور از ذهن می باشد.

صنعت برق شامل سه بخش تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی می باشد، که این بخشها 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 بوجود آید.

یکی از ابزارهای پایه در تحلیل مدارهای AC فازور می باشد. فازور معمولاً به عنوان شکل موج سینوسی حالت دایم در فرکانس پایهٔ قدرت معرفی می شود. حتی اگر سیستم قدرت کاملاً در حالت دایم نباشد، فازورها باز هم به منظور تحلیل رفتار سیستم قدرت مفید خواهند بود. برای نمونه در صورتی که بر اثر نوسانات توان، سیستم قدرت دچار نوسانات الکترومکانیکی شود، شکل موج جریان و ولتاژ در حالت دایم 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 موجهای جریان و ولتاژ به صورت مجموعه ای از حالت های دایم 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.

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

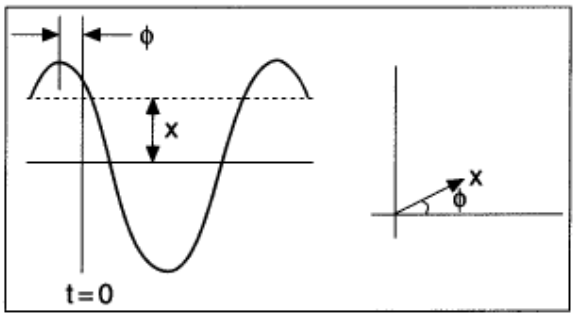
۱-۲ مفهوم فازور

شکل (۱-۱) نشان دهندهٔ شکل موج حالت دایم در فرکانس نامی قدرت است. اگر از لحظهٔ 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 زاویهٔ آن برابر ϕ خواهد بود. در سیستم های اندازه گیری دیجیتال، نمونه های شکل موج در یک دوره ی زمانی، از لحظهٔ صفر شروع به اندازه گیری می شوند و سپس فرکانس پایه با استفاده از تبدیل فوریهٔ گسسته[1] و با توجه به رابطهٔ زیر محاسبه می گردد.

[1] - Discrete Fourier Transform(DFT)

$$X=\frac{\sqrt{2}}{N}\sum_{k=1}^{N}X_k\cdot\varepsilon^{-j2k\pi/N} \qquad (۱-۱)$$

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.



شکل ۱-۱: معرفی فازور شکل موج سینوسی[۲]

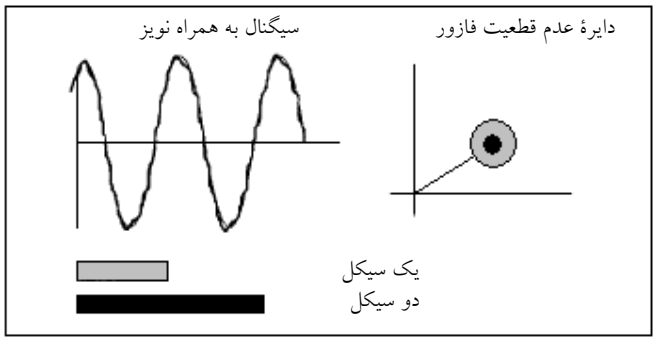
به منظور کاهش خطا در محاسبهٔ تبدیل فوریهٔ گسسته فیلتر شدن شکل موج ورودی ضروری خواهد بود. علت این امر آن است که شکل موج ورودی گاهی شامل فرکانس هایی است که جز هارمونیک های فرکانس پایه نیستند. در این موارد محاسبهٔ فازور دچار خطا خواهد بود. در این موارد می توان اجزا غیر هارمونیکی را به صورت سیگنال خطا در نظر گرفت. در این صورت محاسبهٔ 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 محاسبهٔ فازور بر مبنای آخرین نمونهٔ اندازه گیری شده انجام خواهد شد.

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

$$X_1=\frac{1}{3}(X_a+\alpha X_b+\alpha^2 X_c) \qquad (۲-۱)$$

where $\alpha=\varepsilon^{j2\pi/3}$

X_a, X_b, X_c به ترتیب فازورهای سه فاز هستند.



شکل ۱-۲: سیگنال به همراه نویز و دایرهٔ عدم[۲]

در ارزیابی عملکرد سیستم فازورهای توالی مثبت ولتاژ و جریان نسبت به دیگر پارامترهای قابل اندازه گیری از شکل موجهای جریان و ولتاژ دارای کاربرد بیشتری هستند.

زمانی که جریان ها و ولتاژهای مختلفی در شبکهٔ قدرت به همین روش اندازه گیری شده و به فازور تبدیل می شوند، اگر در ثابت زمانی های یکسان نمونه برداری ها صورت گرفته باشد، این فازورها دارای مرجع یکسانی خواهند بود. برای یک پست واحد، توزیع پالس های زمانی نمونه برداری مشترک بین تمام سیستم های اندازه گیری به آسانی امکان پذیر است. در حالی که در مورد پست های دور از هم، امکان هماهنگ سازی پالسهای نمونه برداری به آسانی مقدور نخواهد بود. در طی سالها با مشخص شدن اهمیت فازورها و اختلاف زاویه های فاز بین نقاط دور از هم در یک سیستم قدرت، تلاشهای بسیاری به منظور هماهنگ سازی اندازه گیرهای فازور در سیستم قدرت صورت گرفته است.

۱-۳ منابع هماهنگ سازی

امکان انتقال سیگنال هماهنگ ساز به کمک سیستم های متداول مخابراتی در شبکه های قدرت وجود دارد. سیستم های مخابراتی متداول چون موج AM[1] رادیو یا امواج مایکروویو، برای کاربردهای عملی فاقد دقت لازم به منظور هماهنگ سازی هستند. در صورت در دسترس بودن فیبر نوری امکان استفاده از آن به منظور هماهنگ سازی با دقت بالا وجود دارد. در صورت استفاده از فیبرهای مالتی پلکس خطای هماهنگ سازی حدود ۱۰۰ میکرو ثانیه خواهد بود که این مقدار خطای هماهنگ سازی برای اندازه گیری های سیستم قدرت قابل قبول نیست. سیستم های ماهواره ایGOES[2] نیز به منظور هماهنگ سازی استفاده شده اند ولی عملکرد آنها نیز دارای دقت کافی نمی باشد. امروزه به منظور هماهنگ سازی از سیستم مکان یابی جهانی(GPS) استفاده می شود. این سیستم در آغاز به منظور رهیابی طراحی شده است ولی امکان دسترسی به پالس زمانی با دقت ۱ میکرو ثانیه در سراسر جهان را نیز فراهم ساخته است. این سیستم مجموعه ای از ماهواره های مرتبط

[1] - Amplitude Modulation
[2] - Geostationary Operational Environmental Satellite

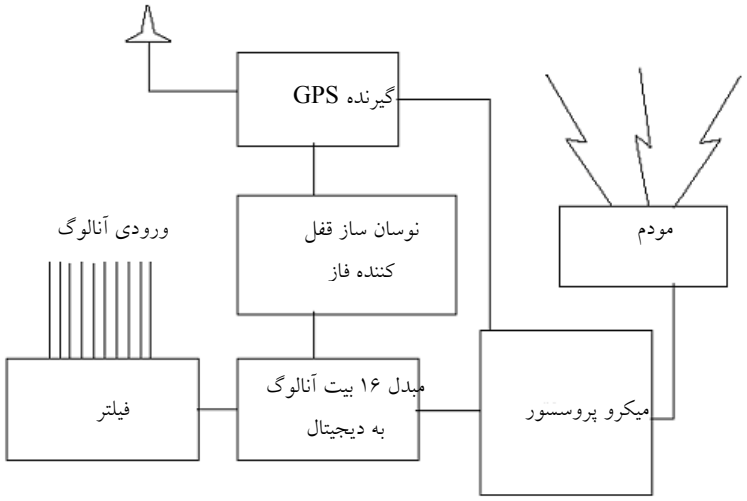
با مدارهای غیر ثابت را که در ارتفاع ۱۰۰۰۰ مایلی از سطح زمین قرار دارند، به کار می گیرد. به منظور دسترسی به پالس زمانی دقیق تنها می بایست یکی از این ماهواره ها در محدودهٔ دید آنتن قرار گیرند. آنتن به اندازه ای کوچک است که به سادگی قابلیت نصب روی سقف پست های برق را دارد.

۱-۴ واحدهای اندازه گیری فازور

واحدهای اندازه گیر فازور(PMUs) که از سیگنال هماهنگ سازی GPS استفاده می کنند امروزه به صورت تجاری تولید می شوند. شکل (۱-۳) نمودار عملکرد بلوکی یک واحد اندازه گیر فازور معمول را نشان می دهد.

گیرندهٔ GPS سیگنال ۱ پالس در ثانیه[1] و بر چسب زمانی که شامل سال، روز، ساعت، دقیقه و ثانیه است را فراهم می نماید. این زمان می تواند به صورت زمان محلی و یا زمان هماهنگ جهانی[2] باشد. سیگنال ۱ پالس در ثانیه معمولاً به کمک نوسان ساز قفل کنندهٔ فاز[3] به تعداد پالس های مورد نیاز در ثانیه به منظور نمونه برداری از سیگنال های آنالوگ، تقسیم می شود. در اکثر سیستم های امروزی این مقدار ۱۲ بار در سیکل کارکرد با فرکانس نامی قدرت است. سیگنال های آنالوگ از ثانویهٔ ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ بدست می آیند.

کل واحد با استاندارد قابلیت مقاومت در برابر ضربهٔ IEEE به شمارهٔ C37.91 هماهنگ می باشد. میکروپروسسور با استفاده از روش بیان شده در بخش ۱-۲ و نیز پیام های زمانی GPS در طول مدت نمونه برداری، فازورهای توالی مثبت را تعیین می نماید. زنجیرهٔ فازورهای محاسبه شده به سایت های دور مخابره می شوند. این مخابره از طریق خطوط مخابراتی موجود و مودم صورت می گیرد.



شکل ۱-۳ :واحد اندازه گیر فازور[۱]

[1] - Pulse-Per-Second(PPS)
[2] - Universal Time Coordinated(UTC)
[3] - Phase-Locked Oscillator

۱-۵ کاربرد واحدهای اندازه گیری فازور

همانگونه که اشاره شد، امروزه واحدهای اندازه گیر فازور هماهنگ به صورت گسترده در سیستم های قدرت استفاده می شوند. با این حال هنوز بسیاری از کاربردهای این دستگاه ها بررسی نگردیده است. در این قسمت به برخی از این کاربردها اشاره می شود.

۱-۵-۱ اندازه گیری فرکانس و فازور

این کاربرد بر اساس دستگاه های اندازه گیر فازی است که بر مبنای تبدیل فوریه عمل می نمایند و برای این منظور نیازی به هماهنگ سازی نمونه برداری بین دستگاه ها نمی باشد. محاسبهٔ فازور توالی مثبت بر مبنای فرکانس نمونه برداری ثابتی بوده و منجر به تولید عددی مختلطی که همان فازور است، خواهد شد. این عدد در صفحهٔ اعداد مختلط با سرعت زاویه ای برابر اختلاف فرکانس مبنای سیستم قدرت و فرکانس واقعی عملکرد سیستم قدرت، می چرخد. اگر فازور توالی مثبت جریان و یا ولتاژ به صورت زیر باشد:

$$X1 = |X1|\, \varepsilon^{j\varphi 1} \qquad (۳-۱)$$

در این صورت فرکانس واقعی عملکرد سیستم به صورت زیر خواهد بود:

$$\omega = \omega_0 + \frac{d\varphi 1}{dt} \qquad (۴-۱)$$

برای مثال زمانی که فرکانس سیستم قدرت ۶۱ هرتز است، فازور با سرعت یک دور در ثانیه به صورت پاد ساعتگرد می چرخد و زمانی که این فرکانس ۵۹ هرتز باشد، فازور با سرعت یک دور در ثانیه به صورت ساعتگرد خواهد چرخید. این روش یکی از حساس ترین و دقیق ترین روش های اندازه گیری فرکانس سیستم های قدرت است. با این روش فرکانس با دقت ۰.۰۰۱ هرتز اندازه گیری شده است. می توان از فازورهای تک فاز نیز به منظور محاسبهٔ فرکانس با همین دقت بهره برد.

از این روش همچنین می توان فازورهای ولتاژ و جریان را با دقتی بالا محاسبه نمود. دقت اندازه گیری با استفاده از مبدل آنالوگ به دیجیتال ۱۶ بیتی و نیز استفاده از تعداد سیکل های بیشتر شکل موج در تخمین فازور افزایش خواهد یافت. خطای تخمین حاصل از سیگنال های نویز با ریشهٔ دوم طول سیکل های به کار رفته در تخمین فازور نسبت عکس دارد.

۱-۵-۲ تخمین حالت

مراکز کنترل شبکه های برق امروزی به منظور تعیین حالت سیستم[۱] از تخمین زنندگان حالت[۲] استفاده می نمایند. تخمین زنندهٔ حالت، اندازه گیری های مختلف(مانند فازورهای ولتاژ، جریان و توان)را از پست های شبکه دریافت نموده و با به کار گیری تخمینی غیر خطی، حالت سیستم قدرت را محاسبه می نمایند. حالت، مجموعه ای از فازورهای توالی مثبت ولتاژ شبکه است.

---

[1] - State of Power System
[2] - State Estimator

لحظهٔ شروع اندازه گیر تا زمانی که امکان تخمین حالت وجود داشته باشد، ممکن است چند ثانیه تا چند دقیقه به طول بیانجامد. بدلیل فاصلهٔ زمانی لازم به منظور پردازش اطلاعات و نیز زمان لازم برای رسیدن اطلاعات به تخمین زنندهٔ حالت، بردار حالت در بهترین شرایط تخمینی از حالت نیمه دایم شبکه خواهد بود. بنابراین امروزه تخمین زنند گان حالت تنها به کاربردهای حالت دایم شبکه محدود شده اند.

مرجع [۱] روشی را به منظور تخمین حالت سیستم ارایه نموده است. این روش بر مبنای مکان یابی بهینه تجهیزات RTU(Remote Terminal Unit) عمل می نماید. بنایراین در کاربرد این روش نیاز به نصب تجهیزات RTU و تجهیزات اندازه گیری به طور همزمان می باشد. کاربرد واحدهای اندازه گیر فازور به دلیل هزینه کمتر نسبت به RTU و نیز عدم نیاز به تجهیزات اندازه گیری اضافه، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه تر است.

حال در نظر بگیرید که ولتاژهای توالی مثبت توسط واحدهای اندازه گیر فازور اندازه گیری شوند. اگر این اندازه گیری ولتاژ در تمام پست های شبکه صورت گیرد، آنگاه حالت شبکه به صورت هم زمان اندازه گیری شده است. در این حالت برای بدست آوردن بردار حالت شبکه هیچ تخمینی نیاز نخواهد بود. از نقطه نظر عملی استفاده از جریان های توالی مثبت مفید خواهد بود. استفاده از جریان های توالی مثبت، که توسط واحدهای اندازه گیر فازور قابل اندازه گیری می باشند، منجر به تخمین خطی حالت سیستم قدرت خواهد شد.

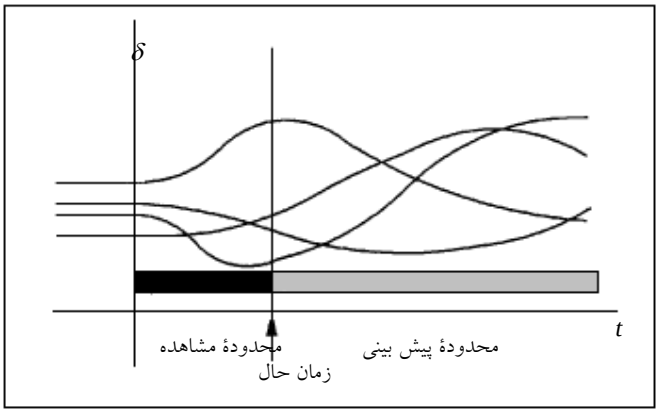
واحد های اندازه گیر فازور علاوه بر ایجاد امکان تخمین حالت استاتیکی بسیار ساده تر برای نخستین بار امکان تخمین حالت دینامیکی سیستم را نیز فراهم نموده اند. با در دسترس بودن زنجیره ای از اطلاعات فازوری حاصل از پست های مختلف در مرکز کنترل شبکه، امکان تخمین حالت دینامیکی سیستم وجود خواهد داشت. با توجه به ظرفیت خطوط مخابراتی معمول و در نظر گرفتن این نکته **که** مشخصهٔ دینامیکی سیستم قدرت در رنج ۰-۲ هرتز تغییر می یابد، امکان مشاهدهٔ حالت دینامیکی سیستم قدرت بصورت زمان واقعی وبا دقت بالا در مرکز کنترل شبکه فراهم خواهد شد.

۱-۵-۳ پیش بینی ناپایداری

نحوهٔ عملکرد مناسب در شرایط ناپایداری یکی از ویژگی های مهم سیستم های قدرت امروزی است. طراحی، عملکرد و حفاظت سیستم قدرت به صورت مستقیم و غیر مستقیم به شرایط ناپایداری سیستم در حالت های اضطراری وابسته است. محدودهٔ بارگذاری سیستم و نیز تنظیم سرعت عملکرد رله های اصلی و پشتیبان با فرض شرایط پایدار صورت می گیرد. بنابراین پیش بینی، کنترل و بهبود شرایط ناپایداری در شبکه های گستردهٔ امروزی دارای اهمیت فراوانی است.

واحدهای اندازه گیر فاز امکان بهبود پاسخ سیستم های کنترلی و حفاظتی را در شرایط نوسانات توان فراهم می نمایند. پایهٔ تمام بهبودهای ممکن، امکان پیش بینی خروجی حاصل از نوسانات حالت گذرا در شرایط زمان واقعی می باشد[۲].

روش متداول در تحلیل پایداری، جمع آوری روابط دینامیکی سیستم است. دشواری حل این مساله سبب نیاز به ساده سازی های مختلف خواهد شد. با این حال دشواری این روش در حدی است که کاربرد آن تنها به مطالعات پایداری در حالت offline محدود می شود. تنها نمونه های اندکی از کاربرد این روش برای تحلیل پایداری به صورت زمان واقعی وجود دارد. توابع گذرای انرژی[1] جایگزین مناسبی برای تحلیل پایداری زمان واقعی می باشند. با این حال تعیین تئوری محدوده های دقیق انرژی دشوار است. روشی مناسبی که امروزه استفاده می شود، کاربرد مدل های ساده شدهٔ سیستم قدرت است. تفاوت عمده بین پیش بینی مسالهٔ پایداری در حالت تحلیل offline نسبت به حالت زمان واقعی، امکان مشاهدهٔ عملکرد سیستم در حالت گذرا است که این امکان با بکار گیری واحدهای اندازه گیر فازور سنکرون فراهم شده است. در شکل(۱-۴) نمونه ای از حالت گذرای سیستم در شرایط زمان واقعی نشان داده شده است.



شکل ۱-۴: پیش بینی پایداری سیستم قدرت برای رله های[۲]

با تعقیب تغییرات متغییرهای حالت سیستم امکان محاسبهٔ نوسانات سیستم در زمان های آینده با دقت مناسب فراهم می شود. با استفاده از این روش می توان ادعا کرد که امکان پیش بینی رفتار سیستم تا یک ثانیهٔ آینده وجود دارد. با این قابلیت پیش بینی، امکان تصمیم گیری های مفید حفاظتی و کنترلی وجود دارد.

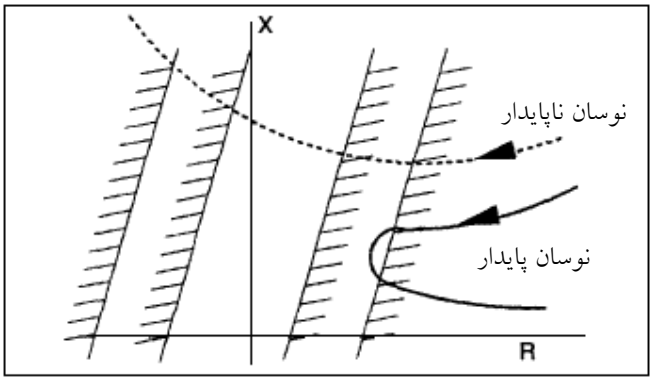
۱-۵-۴ رله های تطبیق پذیر

یکی از کاربردهای مهم پیش بینی ناپایداری، امکان عملکرد حفاظتی تطبیق یافته است که با تغییرات شرایط سیستم قدرت تطبیق می یابد. رله های تطبیقی شروع نوسانات توان را به کمک امپدانس دیده شده توسط رله های دیستانس مشاهده می نمایند. با پیشرفت نوسان، امپدانس دیده شده تغییر می کند. با مشاهدهٔ تغییرات زیاد امپدانس و مدت زمان وقوع این تغییرات، پایداری یا ناپایداری سیستم قدرت حاصل از نوسان توان پیش بینی می شود(شکل ۱-۵). تنظیمات مختلف رله

[1] - Transient Energy Function

های تطبیقی با بکار گیری شبیه سازی های مختلف به ازای شرایط اضطراری منطقی، حاصل می شود. مسالهٔ اصلی جایی رخ می دهد که شرایط واقعی سیستم قدرت با آنچه در مطالعات حالت های اضطراری در نظر گرفته شده است، تفاوت عمده داشته باشد. بنابراین ممکن است رله های تطبیقی در شرایط واقعی سیستم قدرت عملکرد مناسب نداشته باشند.

اگر پیش بینی حالت سیستم بر اثر بروز نوسانات توان به کمک واحدهای اندازه گیر فاز و به صورت زمان واقعی پیش بینی شود، می توان به عملکرد مناسبتری در شرایط واقعی سیستم قدرت دست یافت.



شکل ۱-۵: رله های تطبیقی بر مبنای رله های امپدانسی[۲]

۱-۵-۵ کنترل بهینه

اجزا کنترلی سیستم قدرت، مانند سیستم های تحریک ژنراتور، ترمینال های HVDC، خازن های سری متغییر و ادوات FACTS، کنترل خود را بر مبنای فیدبک های محلی انجام می دهند. در حالی که برخی سیستم های کنترلی می بایست بر مبنای رخدادهای دور از محل خود عملکرد داشته باشند. برای مثال عملکرد میرا سازی نوسانات توان بین دو ناحیه با کنترل توان جاری در خط dc رابط بین دو ناحیه را در نظر بگیرید. این کنترل کننده بایست مدل ریاضی درونی داشته باشد که توان dc را با اختلاف زاویهٔ بین دو ناحیه مرتبط سازد. اگر مدل به کار گرفته شده در شرایط واقعی سیستم قدرت دارای دقت کافی نباشد، سیستم کنترلی عملکرد مورد انتظار را نخواهد داشت.

با بکار بردن واحدهای اندازه گیر فازور امکان گرفتن فیدبک مستقیم از اختلاف زاویهٔ بین دو ناحیه فراهم خواهد شد. مطالعات صورت گرفته نشان می دهد که با بکار گیری سیستم های کنترلی به کمک واحدهای اندازه گیر فازور بر مبنای فیدبک مستقیم عمل می نمایند، عملکرد سیستم کنترلی بهبود خواهد یافت.

۱-۵-۶ کاربرد در نظارت بر کیفیت توان

یکی از کاربرد های واحدهای اندازه گیر فازور استفاده از آنها در نظارت بر کیفیت توان است. واحدهای اندازه گیر فازور امکان اندازه گیری پارامترهایی چون فلیکر و هارمونیک را فراهم می نمایند.

۱-۵-۷ نمایش حرارتی خطوط انتقال

بارگذاری خطوط انتقال (به ویژه خطوط کوتاه و متوسط) اغلب به دلیل ظرفیت حرارتی، محدود می‌شود. به طور سنتی حد حرارتی یک خط بر اساس معیارهای ثابت و محافظه‌کارانه، یعنی در نظر گرفتن مقاومت ثابت به ازای حداکثر ممکن دمای هوا در منطقه و عدم وزش باد، تعیین می‌شد. روشن است که با توجه به چنین فرضی حداکثر استفاده از ظرفیت ممکن خط صورت نخواهد گرفت چرا که شرایط محیطی اغلب بهتر بوده و امکان خنک‌سازی خط توسط باد، اجازه استفاده بیشتر از ظرفیت خط را می‌دهد. در مقابل محاسبه مقاومت خط بر اساس اندازه‌گیری‌های فازوری، رهیافتی اقتصادی به منظور نمایش حرارتی خط و استفاده حداکثر از ظرفیت خط فراهم می‌کند. به طور کلی دمای متوسط خط می‌تواند به صورت تابعی از مقاومت خط R تعریف شود که مقدار R به طور پیوسته توسط اندازه‌گیری‌های فازوری دو سر خط محاسبه می‌شود. با استفاده از حقیقت مذکور، دمای متوسط هادی قابل محاسبه بوده و در نتیجه امکان ارزیابی لحظه‌ای، حد حرارتی و بارگذاری خط انتقال صورت می‌پذیرد. نمایش حرارتی خط انتقال، مزایای زیر را برای بهره‌بردار شبکه به دنبال دارد.

- هشدار سریع و به موقع در حالت اضافه بار شدن خطوط
- کنترل دینامیک ظرفیت خط انتقال
- تخمین غیرمستقیم خمیدگی خطوط

۱-۵-۸ تشخیص خطا و پیدا کردن محل خطا

با استفاده از اندازه‌گیری‌های سنکرون، دقت تشخیص و تعیین محل خطا در خطوط انتقال افزایش چشم‌گیری پیدا می‌کند. برای این منظور الگوریتم‌ها و روش‌های مبتنی بر اندازه‌گیری فازوری جهت تشخیص و مکان‌یابی خطا ارائه شده است. که در این پروژه به تفصیل در مورد آن بحث خواهد شد.

۱-۵-۹ تصحیح و معتبرسازی مدل سیستم

هم‌اکنون برای تحقیق و مطالعه در سیستم‌های قدرت از مدل‌های کامپیوتری در سطح وسیعی استفاده می‌شود. می‌توان با ثبت رفتار سیستم توسط PMU در مقابل رخدادهای مختلف که در اثر اغتشاش در سیستم به وجود می‌آید و مقایسه آن با رفتار شبیه‌سازی شده به بهبود مدل سیستم پرداخته و مدل آن را به مدل واقعی نزدیک‌تر کرد.

۱-۶ اهداف مورد نظر این پروژه

وقوع اتصال کوتاه یکی از ویژگی های اجتناب ناپذیر خطوط انتقال است که انواع اتصال کوتاه در شبکه های قدرت موجب بروز خساراتی سنگین در تجهیزات و وسائل الکتریکی از جمله ژنراتورها و موتورها، ناپایدار شدن سیستم و در نتیجه وقوع خاموشی کامل شبکه[1] و یا خاموشی جزئی شبکه [2] و همچنین خسارات جانی و مالی بسیاری می شود. در نتیجه تلاش ما می بایست در آن جهت باشد که، تا جای ممکن بروز خطا را سریع ترو صحیح تر تشخیص دهیم و اجازه باقی ماندن خطا به مدت طولانی در شبکه را ندهیم.

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 معمولا بوسیلهٔ واحدهای ترمینال راه دور[3] در پست های قدرت صورت گرفته و معمولا شامل توانهای جاری اکتیو و راکتیو، توان های تزریقی، اندازهٔ ولتاژ باس ها و جریان شاخه ها است. اخیرا امکان استفاده از واحدهای اندازه گیر فازور در ایستگاه های قدرت فراهم شده است.

در این پایان نامه سعی بر آن شده است تا با استفاده از تغییراتی که در مدل سیستم به دلیل وقوع خطا اتفاق می افتد یک شبیه سازی دقیق تر انجام شود و مکان رخداد خطا تخمین زده شود.

۱-۷ ساختار پروژه

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

فصل دوم: در این فصل انواع روش های مکان یابی خطا بررسی خواهد شد. در این فصل مروری بر مجموعهٔ کارهای صورت گرفته به منظور تعیین مکان خطا به کمک واحدهای اندازه گیر فاز خواهد شد و ایرادات روش های قبلی و ضرورت به کارگیری روش جدید بیان خواهد شد.

فصل سوم: در این فصل تصحیح و تغییر مدل سیستم به دلیل تغییر فرکانس هنگام رخداد خطا انجام خواهد شد.

فصل چهارم: در این فصل با تکیه بر فصول دوم و سوم شبیه سازی ها صورت می گیرد.

فصل پنجم: در نهایت این فصل به نتیجه گیری نهایی و ارائه پیشنهادت برای انجام کارهای آینده می پردازد. هدف این فصل ارائه نتیجه گیری جامعی از پروژه می باشد و پیشنهادات ارائه شده به منظور تکمیل نمودن پروژه مناسب به نظر می رسد.

---

[1] Black out
[2] Brown out
[3] - Remote Terminal Units(RTU)

فصل دوم

تکنیک های مکان یابی خطا بر پایه ی داده های واحدهای اندازه گیری فازوری

۲-۱ مقدمه

تکنیک های مکان یابی خطا از دهه ی ۱۹۵۰ شروع به تحقیق کرده اند. الگوریتم مکان یابی خطای معمولی می تواند به دو گروه دسته بندی شود: روش های بر پایه ی امواج سیار[۳] - [۶]، و روش های بر پایه ی امپدانس[۷] – [۱۱]. همچنین هر دو روش نامبرده می توانند به دو دسته تقسیم بندی شوند:

الف)با استفاده از داده های یک انتهای خط انتقال

ب)با استفاده از داده های دو انتهای خط انتقال

روش بر پایه ی امواج سیار زمان نسبی موج ولتاژ یا جریان که به یک یا دو انتهای ترمینال خط انتقال می رسد را اندازه می گیرد. مکان خطا می تواند توسط حاصل ضرب زمان نسبی در سرعت موج که نزدیک به سرعت نور است، محاسبه شود. محدودیت اصلی این روش نرخ بالای نمونه برداری می باشد. چون سرعت امواج دسیار کمی پایین تر از سرعت نور است، به منظور دست یابی به دقت بالاتر باید یک فرکانس نمونه برداری با نرخ خیلی بالا استفاده شود.

در روش های بر پایه ی امپدانس، مکان خطا توسط اندازه گیری امپدانس دیده شده از مکان رله تا نقطه ی خطا محاسبه می شود.در مورد این روش ها باید عنوان کرد که مقاومت خطا بر دقت این روش ها تاثیر گذار است.

۲-۲ روش های مکان یابی خطا بر پایه ی امواج سیار

خطاها همچون عملیات کلیدزنی سبب ایجاد امواج گذرای ولتاژ و جریان خواهند شد، که در طول خط با سرعتی نزدیک به سرعت نور منتشر میشود. این امواج هنگامی که به ترمینال های خط می رسند به صورت برگشتی طول خط را طی می کنند. سرانجام موج سیار تضعیف شده و به خاطر تلفات خطوط کاملاً از بین می رود. در این گونه روش ها مکان خطا توسط حاصل ضرب سرعت سیر موج در زمان نسبی رسیدن موج به انتهای خط به دست می آید.

۲-۲-۱ روش مکان یابی خطا بر پایه ی امواج سیار با استفاده از داده های یک انتها