انتشارات دانشگاه شیراز
۵۵۹

اصول واحدهای اندازه گیری فازور (PMU) و کاربرد آن‌ها در شبکه های برق

تصنیف

دکتر مریم دهقانی

استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه شیراز

مهندس بیتا شایان‌فرد

کارشناس دیسپاچینگ شرکت برق منطقه ای فارس

سرشناسه	:	دهقانی، مریم، ۱۳۵۶ شهریور -
عنوان و نام پدیدآور	:	اصول واحدهای اندازه‌گیری فازور (PMU) و کاربرد آنها در شبکه‌های برق/ تصنیف مریم دهقانی، بیتا شایان‌فرد.
مشخصات نشر	:	شیراز : دانشگاه شیراز، مرکز نشر، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	:	ی، [۲۵۵] ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست	:	انتشارات دانشگاه شیراز؛ ۵۵۹.
شابک	:	۹۷۸۹۶۴۴۶۲۵۵۹۶
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	کتابنامه: ص. [۲۴۵] - ۲۵۲.
یادداشت	:	نمایه.
موضوع	:	برق -- سیستم‌ها Electric power systems برق -- سیستم‌ها -- مدیریت Electric power systems -- Management برق نیرو -- توزیع -- اندازه‌گیری Electric power distribution -- Measurement شبکه‌های هوشمند توزیع برق Smart power grids
شناسه افزوده	:	شایان‌فرد، بیتا، ۱۳۵۵ -
شناسه افزوده	:	دانشگاه شیراز. مرکز نشر
شناسه افزوده	:	Shiraz University. Publishing Center
رده بندی کنگره	:	TK ۱۰۰۱
رده بندی دیویی	:	۶۲۱/۳۱
شماره کتابشناسی ملی	:	۸۸۸۹۴۲۳
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا

اصول واحدهای اندازه‌گیری فازور (PMU) و کاربرد آن‌ها در شبکه های برق

دکتر مریم دهقانی و مهندس بیتا شایان‌فرد

ویراستار و صفحه‌آرا: زینب دهقانی

طراح جلد: جواد مؤمن زاده

چاپ اول: ۱۴۰۱

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۱۸۰،۰۰۰ تومان

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاه شیراز محفوظ است

شیراز، میدان ارم، کوی دانشگاه شیراز - کد پستی ۸۵۱۱۵ - ۷۱۹۴۶ صندوق پستی ۱۱۶۱

تلفن و تلفکس: ۰۷۱۳۶۲۷۳۰۵۰

پیش‌گفتار

با توجه به اهمیت شبکه هوشمند در سال‌های اخیر و نقش واحدهای اندازه‌گیری فازور در صنعت برق، بر آن شدیم که حاصل بیش از ده سال تجربه در زمینه PMU را به نگارش درآوریم. بنابراین در این کتاب سعی شده است که در قالب ۹ فصل به معرفی PMU و کاربردهای آن در شبکه برق پرداخته شود. فصل اول به معرفی واحد اندازه‌گیری فازور می‌پردازد. در فصل دوم جایابی بهینه PMUها با هدف رؤیت‌پذیری کامل شبکه برق شرح داده می‌شود. در فصل سوم به بحث تخمین حالت به‌عنوان یکی از کاربردهای مهم PMU پرداخته شده است. از آنجا که مسأله پایداری شبکه قدرت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، در فصل‌های چهارم تا ششم به ترتیب، ارزیابی پایداری سیگنال کوچک، ارزیابی پایداری گذرا و ارزیابی پایداری ولتاژ با استفاده از اطلاعات دریافت‌شده از PMU بیان می‌شود. فصل هفتم به موضوع قابلیت اطمینان داده در رؤیت‌پذیری می‌پردازد. با توجه به اهمیت بحث امنیت در شبکه‌های قدرت، در فصل هشتم به امنیت سایبری و روش‌های شناسایی حمله پرداخته می‌شود. فصل آخر نیز شامل طراحی پایدارساز سیستم‌های قدرت با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده توسط PMU می‌باشد.

در پایان، از رئیس محترم و اعضاء محترم شورای نشر دانشگاه، مجموعه معاونت پژوهشی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر و همکاران گرامی مرکز انتشارات دانشگاه که مراحل داوری و چاپ کتاب را پیگیری نمودند، تشکر و قدردانی می‌کنیم. همچنین از حمایت‌های شرکت برق منطقه‌ای فارس سپاسگزاری می‌نماییم.
امید است که این کتاب بتواند نقشی در افزایش علم و آگاهی در صنعت برق و دانشگاه‌ها داشته باشد.

مریم دهقانی
بیتا شایان فرد

فهرست مطالب

فصل اول: معرفی واحد اندازه‌گیری فازور ۱
۱-۱- معرفی PMU ۱
۱-۲- تاریخچه ۲
۱-۳- فازور هم‌زمان ۵
۱-۴- ساختار PMU ۷
۱-۴-۱- ورودی و خروجی ۷
۱-۴-۲- ساختار داخلی ۸
۱-۵- شبکه‌های PMU ۱۱
۱-۶- استاندارد ۱۵
۱-۷- μPMU تخصصی شبکه‌های توزیع ۱۷
۱-۸- کاربردها ۲۰
۱-۹- خلاصه فصل ۲۲

فصل دوم: جایابی بهینه PMU ۲۳
۲-۱- مقدمه ۲۳
۲-۲- جایابی بهینه PMU با استفاده از روش برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی ۲۴
۲-۳- مدل‌سازی اثر باس‌های تزریق صفر در مسأله جایابی بهینه PMU ۲۷
۲-۴- جواب‌های بهینه چندگانه ۳۰
۲-۵- اولویت‌بندی نصب PMU ۳۴
۲-۶- رؤیت‌پذیری کامل شبکه برق درصورت معیوب شدن یک PMU یا خروج یک خط انتقال ۴۰
۲-۷- خلاصه فصل ۴۰

فصل سوم: تخمین حالت ۴۱
۳-۱- مقدمه ۴۱
۳-۲- تخمین حالت استاتیک سیستم‌های قدرت ۴۳
۳-۲-۱- تخمین حالت خطی با استفاده از داده‌های PMU ۴۳
۳-۲-۲- تخمین حالت با استفاده از داده‌های SCADA ۴۷

۳-۲-۳- تخمین حالت هایبرید با استفاده از داده‌های PMU و SCADA ۵۰
۳-۳- تخمین حالت دینامیک سیستم‌های قدرت ۵۴
۱-۳-۳- تکنیک همجوشی داده‌ها ۵۴
۲-۳-۳- تخمین حالت دینامیکی هایبرید یک سیستم تک ماشینه با استفاده از داده‌های توأم PMU و SCADA ۵۷
۳-۳-۳- تخمین حالت دینامیکی هایبرید سیستم قدرت ابعاد بزرگ با استفاده از داده‌های توأم PMU و SCADA ۶۱
۴-۳- خلاصه فصل ۶۸

فصل چهارم: ارزیابی پایداری سیگنال کوچک با استفاده از اطلاعات PMU ۶۹
۱-۴- مقدمه ۶۹
۲-۴- تئوری پرونی ۷۱
۳-۴- شاخص‌های ارزیابی پایداری سیگنال کوچک ۷۶
۱-۳-۴- شاخص پایداری بر مبنای مقدار ویژه سیستم ۷۶
۲-۳-۴- شاخص پایداری بر مبنای حداقل مربعات خطا ۷۷
۳-۳-۴- شاخص پایداری بر مبنای روش تجزیه به مقدار تکین ۷۸
۴-۴- جایابی بهینه PMU به هدف دستیابی به ارزشمندترین اطلاعات جهت ارزیابی پایداری دینامیک ۸۰
۱-۴-۴- جایابی بر مبنای شاخص مبتنی بر مقدار ویژه و حداقل مربعات خطا ۸۰
۲-۴-۴- جایابی بر مبنای شاخص مبتنی بر مقادیر تکین ۸۳
۵-۴- رتبه‌بندی PMU بر مبنای شاخص پایداری SVD ۸۹
۶-۴- ملاحظات تکمیلی ۹۰
۱-۶-۴- بررسی نقاط کار متفاوت ۹۰
۲-۶-۴- بررسی اثر نویز ۹۱
۷-۴- خلاصه فصل ۹۲

فصل پنجم: ارزیابی پایداری گذرا بر مبنای داده‌های PMU ۹۳
۱-۵- مقدمه ۹۳
۲-۵- ارزیابی پایداری گذرا بر مبنای مقادیر اندازه‌گیری شده از PMU ۹۴
۱-۲-۵- مدل سازی ۹۵
۲-۲-۵- تقسیم‌بندی سیستم قدرت به نواحی منسجم ۹۶
۱-۲-۲-۵- تقسیم‌بندی شبکه بر اساس الگوریتم فازی C-means ۹۸

۲-۲-۲-۵- استفاده از شاخص نرم گرامیان جهت انتخاب بهترین باس نماینده هر گروه ۹۹
۳-۲-۵- جایابی مؤثر PMU ۱۰۱
۴-۲-۵- شاخص‌های ارزیابی پایداری گذرا ۱۰۳
۵-۲-۵-تنظیمات سیستم پیش‌بین ۱۱۰
۶-۲-۵- پیاده‌سازی سیستم پیش‌بین ۱۱۲
۳-۵- ارائه یک مثال ۱۱۳
۴-۵- خلاصه فصل ۱۲۰

فصل ششم: ارزیابی پایداری ولتاژ بر مبنای داده‌های PMU ۱۲۱
۱-۶- مقدمه ۱۲۱
۲-۶- ارزیابی امنیت استاتیک ولتاژ ۱۲۲
۱-۲-۶- جمع‌آوری داده مورد نیاز برای ارزیابی امنیت استاتیک ۱۲۳
۲-۲-۶- کاهش ابعاد داده با استفاده از تکنیک PCA ۱۲۶
۳-۲-۶- انتخاب ویژگی با استفاده از آنالیز همبستگی ۱۲۹
۴-۲-۶- طراحی و آموزش درخت تصمیم‌گیری برای ارزیابی امنیت استاتیک ولتاژ ۱۳۰
۵-۲-۶- ارائه یک مثال ۱۳۲
۳-۶- ارزیابی امنیت دینامیک ولتاژ ۱۳۴
۱-۳-۶- جمع‌آوری داده برای ارزیابی امنیت دینامیک شبکه قدرت ۱۳۵
۲-۳-۶- معرفی شاخص‌های تصمیم‌گیری ۱۳۵
۳-۳-۶- ماشین بردار پشتیبان (SVM) ۱۳۶
۴-۳-۶- طراحی و آموزش بردار ماشین‌های پشتیبان برای ارزیابی امنیت دینامیک سیستم ۱۳۹
۵-۳-۶- جایابی بهینه PMUها با رویکرد ارزیابی امنیت دینامیک ۱۴۰
۶-۳-۶- بررسی روش کاهش حجم داده در ارزیابی امنیت دینامیک ۱۴۱
۷-۳-۶- ارائه یک مثال ۱۴۲
۴-۶- روش شاخص‌ها بر مبنای مقادیر اندازه‌گیری شده برای ارزیابی پایداری ولتاژ ۱۴۶
۵-۶- خلاصه فصل ۱۴۹

فصل هفتم: قابلیت اطمینان داده در رؤیت‌پذیری ۱۵۱
۱-۷- مقدمه ۱۵۱
۲-۷- مدل کردن قابلیت اطمینان یک PMU ۱۵۲
۱-۲-۷- ارزیابی قابلیت اطمینان در حضور عدم قطعیت ۱۵۵

۳-۷- شاخص قابلیت اطمینان داده PMUهای یک شبکه ۱۵۷
۱-۳-۷- محاسبه قابلیت اطمینان رؤیت‌پذیری در حضور عدم قطعیت ۱۶۵
۴-۷- آنالیز قابلیت اطمینان شبکه‌های WAMS ۱۶۷
۱-۴-۷- دسته‌بندی شبکه‌های مخابراتی WAMS ۱۶۷
۲-۴-۷- روش اول ۱۷۰
۳-۴-۷- روش دوم ۱۷۲
۵-۷- خلاصه فصل ۱۷۷

فصل هشتم: امنیت سایبری ۱۷۹
۱-۸- مقدمه ۱۷۹
۲-۸- انواع حملات سایبری ۱۸۰
۱-۲-۸- تمهیدات امنیتی جهت مقابله با حملات سایبری ۱۸۱
۲-۲-۸- تشخیص حملات در سیستم‌های قدرت ۱۸۲
۱-۲-۲-۸- مکانیزم‌های رفع و کاهش حملات سایبری ۱۸۴
۲-۲-۲-۸- رمزنگاری اطلاعات ۱۸۵
۳-۲-۸- طبقه‌بندی حملات در نظر گرفته شده ۱۸۶
۳-۸- تشخیص حمله با استفاده از تخمین‌گر استاتیک ۱۸۷
۴-۸- تشخیص حمله با استفاده از تخمین‌گر دینامیک ۱۸۹
۱-۴-۸- شناسایی حمله با استفاده از داده‌های PMU ۱۹۲
۲-۴-۸- شناسایی حمله با استفاده از داده‌های PMU و اسکادا ۱۹۴
۳-۴-۸- شناسایی حمله با استفاده از رویتگر غیرمتمرکز با ورودی ناشناخته ۱۹۷
۱-۳-۴-۸- تئوری رویتگر با ورودی نامعلوم ۱۹۷
۲-۳-۴-۸- الگوریتم طراحی رویتگر ورودی ناشناخته ۱۹۹
۳-۳-۴-۸- شناسایی حمله با استفاده از داده‌های PMU ۲۰۱
۴-۴-۸- استفاده از روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین در تشخیص حملات ۲۰۲
۵-۸- خلاصه فصل ۲۰۵

فصل نهم: طراحی **PSS** با استفاده از اطلاعات**PMU** ۲۰۷
۱-۹- معرفی پایدارساز سیستم قدرت ۲۰۷
۲-۹- ساختارهای PSS در شبکه‌های WAMS ۲۰۹
۳-۹- تئوری‌های مورد نیاز ۲۱۴

۹-۳-۱- معرفی ماتریس‌های مودال ۲۱۴
۹-۳-۲- فاکتورهای مشارکت ۲۱۶
۹-۳-۳- کنترل‌پذیری و رؤیت‌پذیری مودال ۲۱۶
۹-۴- روش‌های انتخاب سیگنال‌های ورودی و خروجی PSS ۲۱۸
۹-۴-۱- الگوریتم متعامدسازی ترتیبی ۲۱۸
۹-۴-۲- آنالیز مودال رؤیت‌پذیری و کنترل‌پذیری ۲۲۲
۹-۴-۳- الگوریتم ترکیبی ۲۲۳
۹-۴-۴- مثال کاربردی ۲۲۸
۹-۵- روش طراحی PSS مبتنی بر داده‌های PMU ۲۳۵
۹-۵-۱- روش بهینه‌سازی ۲۳۶
۹-۵-۲- روش نامساوی ماتریسی خطی ۲۳۸
۹-۵-۳- روش طراحی چند سطحه ۲۴۲
۹-۶- خلاصه فصل ۲۴۴

منابع و مآخذ ۲۴۵
پیوست الف ۲۵۳