همه امتیازات این پایان‌نامه به دانشگاه لرستان تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب در مجلات، کنفرانس‌ها یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه لرستان (یا استاد یا اساتید راهنمای پایان‌نامه) و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر اینصورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

دانشگاه لرستان

دانشکده فنی مهندسی

گروه برق

شناسایی و طبقه‌بندی اغتشاشات کیفیت توان با استفاده از شبکه‌های عصبی مبتنی بر تبدیل موجک

نگارش

مریم رحمتی گروسی

استاد راهنما

دکتر محمودرضا شاکرمی

استاد مشاور

دکتر فرهاد نامداری

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق قدرت

بهمن ۱۳۹۲

ما حصال آموخته را تقدیم کنم به آنان که مهر آسمانی آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم دستان پرمهر پدرم

به زیباترین نگاه زندگیم چشمان مهربان مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کرانه بایدیتان را سپاس نتوانم بگویم.

امروزم به تمید شما ست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

گر ان رنگ تعلق از این مال ندا شتم تا به خاک پایتان ما شتا که کلام صال تلا شم زیم گونه غبار خستگیتان را بزدایم.

بوسه بر دستان پرمهرتان

سپاسگزاری

سپاس بیکران ایزد مهربان که تو فیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان‌نامه را به پایان برسانم.

جا دارد از تمامی عزیزانی که در انجام این پژوهش یاری‌ام نمودند، به‌ویژه استاد گرانقدر جناب آقای دکتر مهرداد نامداری که زحمت مشاوری این پایان‌نامه را متقبل شدند؛ و از استاد گرامی جناب آقای دکتر امیر عباس رکرک که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم. با سپاس بی‌دریغ خدمت دوستان گرانمایه‌ام خانم مریم زهره زمانی و سایر دوستانم که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری دادند با تشکر خالصانه خدمت همگی کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده‌اند.

چکیده

توان الکتریکی با کیفیت مناسب برای عملکرد درست بسیاری از تجهیزات الکتریکی ضروری می‌باشد. از این رو مسئله‌ی کیفیت توان به موضوع بسیاری از تحقیقات امروزی تبدیل شده است. به منظور بهبود کیفیت توان الکتریکی، باید دلایل و منابع اغتشاش تعیین شده و سپس برای حذف یا کاهش آن‌ها، اقدامات سنجیده‌ای به کار گرفته شود.

در این پایان‌نامه ابتدا روشی جهت تشخیص و طبقه‌بندی اغتشاشات کیفیت توان با استفاده از تبدیل موجک گسسته و شبکه‌ی عصبی ارائه شده است. روش پیشنهادی، ضمن تفکیک اغتشاشات از سیگنال‌های سینوسی، قادر به تعیین نوع اغتشاش می‌باشد. با توجه به این که سیگنال‌های مورد استفاده در این روش توسط تبدیل موجک نویززدایی شده‌اند، ضمن معرفی و مقایسه‌ی روش‌های مختلف نویززدایی مبتنی بر تبدیل موجک، روشی که بهترین عملکرد نویززدایی را دارد انتخاب شده است.

در این روش چنانچه سیگنال دارای اغتشاش باشد، با استفاده از تبدیل موجک گسسته تجزیه شده و اطلاعات مفید آن استخراج می‌شود. بر اساس این اطلاعات، بردارهای ویژگی مناسبی انتخاب شده و برای آموزش شبکه‌ی عصبی استفاده می‌شوند. این اغتشاشات شامل نُه پدیده‌ی اغتشاشی تعریف شده در استانداردها و هشت پدیده‌ی اغتشاشی توام می‌باشند. سپس دقت روش در شرایط نویزی مختلف مورد بررسی قرار گرفته و عملکرد آن با روش‌های مراجع معتبر مقایسه شده است.

برای افزایش راندمان طبقه‌بندی و کاهش زمان محاسباتی، به جای یک شبکه‌ی عصبی به کار گرفته شده در قسمت‌های قبل از پنج شبکه‌ی عصبی موازی استفاده شده است. همچنین روشی برای طبقه‌بندی انواع کمبود ولتاژ سه فاز ارائه شده است. در پایان روشی ارائه شده که به کمک آن می‌توان نوع اغتشاش را در کم‌ترین زمان ممکن تشخیص داد.

واژگان کلیدی: شبکه‌ی عصبی، تبدیل موجک، نویززدایی، اغتشاشات کیفیت توان، کمبود ولتاژهای سه فاز

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

مقدمه ۱

۱-۱- تعریف مسئله‌ی کیفیت توان ۲

۱-۱- دلایل توجه به مبحث کیفیت توان ۳

۱-۲- حل مشکلات کیفیت توان ۴

۱-۳- چرخه‌ی راه حل برای مسائل کیفیت توان ۵

۱-۴- طبقه‌بندی اغتشاشات کیفیت توان ۷

۱-۵- ساختار تحقیق ۸

فصل دوم

اغتشاشات کیفیت توان الکتریکی ۹

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- حالات گذرا ۱۰

۲-۲-۱- گذرای ضربه‌ای ۱۰

۲-۲-۲- گذرای نوسانی ۱۳

۲-۳- تغییرات کوتاه مدت ولتاژ ۱۴

۲-۳-۱- قطعی ۱۴

۲-۳-۲- کمبود(فرورفتگی) ۱۴

۲-۳-۳- بیشبود(برآمدگی) ۱۵

۲-۴- تغییرات بلندمدت ولتاژ ۱۶

۲-۴-۱- قطعی بلند مدت ۱۶

۲-۴-۲- کاهش ولتاژ بلند مدت ۱۶

۲-۴-۳- اضافه ولتاژ بلندمدت ۱۷

۲-۶- آفست DC ۱۷

۲-۷- هارمونیک ۱۸

۲-۹- شکاف ۱۹

۲-۱۰- نویز ۱۹

۲-۱۱- نوسان ولتاژ(فلیکر) ۲۰

۲-۱۳- اغتشاشات توام ۲۱

فصل سوم

پیشینه‌ی پژوهش ۲۵

۳-۱- مقدمه ۲۶

۳-۲- تکنیک‌های پردازش سیگنال مورد استفاده در طبقه‌بندی اغتشاشات کیفیت توان ۲۶

۳-۳- الگوریتم‌های طبقه‌بندی خودکار اغتشاشات کیفیت توان ۲۹
۳-۴- برخی کارهای انجام شده در زمینه‌ی طبقه‌بندی اغتشاشات کیفیت توان ۳۱

فصل چهارم

تبدیل موجک و شبکه‌ی عصبی ۴۰
۴-۱- مقدمه ۴۱
۴-۲- تبدیل موجک ۴۱
۴-۲-۱- مقدمه ۴۱
۴-۲-۲- تاریخچه‌ی تبدیل موجک ۴۲
۴-۲-۲-۱- تبدیل فوریه ۴۲
۴-۲-۲-۲- تبدیل فوریه‌ی کوتاه مدت ۴۳
۴-۲-۲-۳- تبدیل موجک ۴۴
۴-۲-۳- مزیت تبدیل موجک در قبال تبدیل فوریه ۴۴
۴-۲-۴- تعریف تبدیل موجک ۴۵
۴-۲-۴-۱- تعداد بُعد ۴۷
۴-۲-۵- تبدیل موجک پیوسته ۴۷
۴-۲-۵-۱- مقیاس دادن ۴۸
۴-۲-۵-۲- شیفت دادن ۵۰
۴-۲-۵-۳- مقیاس و فرکانس ۵۰
۴-۲-۵-۴- پنج مرحله برای تبدیل موجک پیوسته ۵۰
۴-۲-۶- تبدیل موجک گسسته ۵۲
۴-۲-۷- تحلیل ریاضی تبدیل موجک ۵۲
۴-۲-۸- فیلترینگ تک سطحی ۵۴
۴-۲-۹- تجزیه‌ی چندسطحی ۵۶
۴-۲-۱۰- بازسازی شکل موج با استفاده از تبدیل موجک ۵۶
۴-۲-۱۰-۱- فیلترهای بازسازی ۵۷
۴-۲-۱۰-۲- بازسازی سیگنال با استفاده از جزییات و تقریب‌ها ۵۸
۴-۲-۱۱- تجزیه و بازسازی چند مرحله‌ای ۶۰
۴-۳- شبکه‌های عصبی مصنوعی ۶۱
۴-۳-۱- مقدمه ۶۱
۴-۳-۲- تاریخچه‌ی شبکه‌های عصبی ۶۱
۴-۳-۳- شبکه‌های عصبی طبیعی ۶۲
۴-۳-۴- شبکه‌های عصبی مصنوعی ۶۲
۴-۳-۴-۱- ویژگی شبکه‌های عصبی مصنوعی ۶۴
۴-۳-۴-۱-۱- قابلیت یادگیری ۶۵
۴-۳-۴-۱-۲- پراکندگی اطلاعات" پردازش اطلاعات به صورت متن" ۶۵
۴-۳-۴-۱-۳- قابلیت تعمیم ۶۵

۴-۳-۴-۱-۴- پردازش موازی ۶۵
۴-۳-۴-۱-۵- مقاوم بودن ۶۶
۴-۳-۴-۲- دسته‌بندی شبکه‌های عصبی ۶۶
۴-۳-۴-۳- کابرد شبکه‌های عصبی مصنوعی ۶۶
۴-۳-۵- مدل نرون و معماری شبکه‌های عصبی مصنوعی ۶۷
۴-۳-۵-۱- مدل ریاضی نرون تک ورودی ۶۷
۴-۳-۵-۲- نرون با ورودی برداری(چند ورودی) ۶۹
۴-۳-۶- توابع انتقال ۷۰
۴-۳-۶-۱- تابع انتقال خطی ۷۰
۴-۳-۶-۲- تابع انتقال پله‌ای ۷۱
۴-۳-۶-۳- توابع انتقال سیگموئید ۷۲
۴-۳-۶-۳-۱- تابع انتقال سیگموئید لگاریتمی ۷۲
۴-۳-۶-۳-۲- تابع انتقال سیگموئید تانژانت هیپربولیک ۷۲
۴-۳-۷- ساختار شبکه‌های عصبی ۷۳
۴-۳-۷-۱- شبکه‌ی تک لایه ۷۳
۴-۳-۷-۲- شبکه‌ی چند لایه ۷۴
۴-۳-۸- شبکه‌های عصبی به عنوان سیستم‌های دینامیکی آموزش پذیر ۷۶
۴-۳-۸-۱- جمع‌آوری داده ۷۷
۴-۳-۸-۲- نرمالیزه کردن داده‌ها ۷۷
۴-۳-۸-۳- انتخاب معماری و ساختار شبکه ۷۷
۴-۳-۸-۴- آموزش شبکه ۷۸
۴-۳-۸-۵- آزمایش و تست شبکه ۷۸
۴-۳-۸-۶- انتخاب ساختارهای متناوب و انجام آموزش‌های جدید ۷۹
۴-۳-۹- انواع یادگیری ۷۹
۴-۳-۹-۱- یادگیری با ناظر ۸۰
۴-۳-۹-۲- یادگیری بدون ناظر ۸۰
۴-۳-۹-۳- یادگیری تشدیدی ۸۱
۴-۳-۱۰- قوانین یادگیری ۸۱
۴-۳-۱۰-۱- پرسپترون چند لایه ۸۲
۴-۳-۱۰-۱- الگوریتم پس انتشار خطا ۸۴
۴-۳-۱۱- انتخاب مقادیر اولیه برای اوزان و بایاس‌ها ۸۵

فصل پنجم

نتایج شبیه‌سازی ۸۷
۵-۱- مقدمه ۸۸
۵-۲- جمع‌آوری داده‌ها ۸۸
۵-۳- اضافه کردن نویز ۹۰

۵-۴- نویززدایی ۹۰
۵-۴-۱- انواع روش‌های آستانه‌گذاری ۹۱
۵-۴-۲- تعیین مقدار حد آستانه ۹۲
۵-۴-۳- انتخاب روش نویززدایی مناسب ۹۴
۵-۴-۴- انتخاب موجک مادر مناسب ۹۶
۵-۵- تشخیص اغتشاشات ۹۷
۵-۶- تعیین بردار ویژگی ۹۹
۵-۶-۱- انتخاب موجک مادر مناسب ۹۹
۵-۶-۲- استخراج مشخصه ۱۰۰
۵-۷- شبکه‌ی عصبی ۱۰۵
۵-۷-۱- طراحی شبکه‌ی عصبی ۱۰۵
۵-۷-۲- تعیین تعداد لایه‌ها و نرون‌های شبکه ۱۰۵
۵-۷-۳- توابع به کار گرفته شده در شبکه ۱۰۶
۵-۷-۴- آموزش و تست شبکه‌ی عصبی طراحی شده ۱۰۷
۵-۸- ارزیابی عملکرد شبکه‌ی طراحی شده بر سیگنال‌های با نسبت سیگنال به نویز مختلف ۱۰۹
۵-۹- مقایسه‌ی عملکرد روش پیشنهادی در این تحقیق با مراجع دیگر ۱۰۹
۵-۱۰- استفاده از شبکه‌های عصبی موازی ۱۱۱
۵-۱۰-۱- شبکه‌ی عصبی اول ۱۱۲
۵-۱۰-۲- شبکه‌ی عصبی دوم ۱۱۳
۵-۱۰-۳- شبکه‌ی عصبی سوم ۱۱۴
۵-۱۰-۴- شبکه‌ی عصبی چهارم ۱۱۵
۵-۱۰-۵- شبکه‌ی عصبی پنجم ۱۱۶
۵-۱۰-۶- مزایای استفاده از پنج شبکه‌ی عصبی موازی ۱۱۷
۵-۱۱- طبقه‌بندی انواع کمبود ولتاژ سه فاز ۱۱۹
۵-۱۱-۱- مقدمه ۱۱۹
۵-۱۱-۲- جمع‌آوری داده‌های ورودی ۱۲۵
۵-۱۱-۳- تعیین بردار ویژگی ۱۲۵
۵-۱۱-۳-۱- انتخاب موجک مادر مناسب ۱۲۵
۵-۱۱-۳-۲- استخراج مشخصه ۱۲۶
۵-۱۱-۴- شبکه‌ی عصبی ۱۲۸
۵-۱۱-۵- ارزیابی عملکرد شبکه‌ی طراحی شده بر سیگنال‌های با نسبت سیگنال به نویز مختلف ۱۳۰
۵-۱۲- طراحی طبقه‌بندی کننده‌ی به‌هنگام ۱۳۱
فصل ششم
نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۳۵
۶-۱- نتیجه‌گیری ۱۳۶
۶-۲- نوآوری‌ها ۱۳۸

۶-۲- پیشنهادها ۱۳۸
منابع ۱۳۹

فهرست شکل‌ها

شماره‌ی شکل **صفحه**

شکل (۱-۱): گام‌های اصلی راه حل مسائل کیفیت توان ۶
شکل (۲-۱): گذرای ضربه‌ای ناشی از صاعقه ۱۳
شکل (۲-۲): گذرای نوسانی ناشی از انرژی‌دار کردن بانک خازنی ۱۳
شکل (۲-۳): قطعی ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه ۱۴
شکل (۲-۴): کمبود ولتاژ ناشی از راه‌اندازی یک موتور ۱۵
شکل (۲-۵): بیشبود ولتاژ ناشی از اتصال خط به زمین ۱۶
شکل (۲-۶): نمونه‌ای از یک آفست DC در مقایسه با یک سیگنال سینوسی ۱۸
شکل (۲-۷): نمونه‌ای از یک اعوجاج هارمونیکی ۱۹
شکل (۲-۸): شکاف ولتاژ ایجاد شده از عملکرد کانورتر[۹] ۱۹
شکل (۲-۹): یک نمونه سیگنال نویزی ۲۰
شکل (۲-۱۰): فلیکر ناشی از عملکرد کوره‌ی قوس الکتریکی[۹] ۲۱
شکل (۲-۱۱): نمونه‌ای از اغتشاش هارمونیک توام با کمبود ولتاژ ۲۱
شکل (۲-۱۲): نمونه‌ای از اغتشاش هارمونیک توام با بیشبود ولتاژ ۲۲
شکل (۲-۱۳): نمونه‌ای از اغتشاش فلیکر توام با کمبود ولتاژ ۲۲
شکل (۲-۱۴): نمونه‌ای از اغتشاش فلیکر توام با بیشبود ولتاژ ۲۲
شکل (۲-۱۵): نمونه‌ای از اغتشاش گذرای نوسانی توام با کمبود ولتاژ ۲۳
شکل (۲-۱۶): نمونه‌ای از اغتشاش گذرای نوسانی توام با بیشبود ولتاژ ۲۳
شکل (۲-۱۷): نمونه‌ای از اغتشاش هارمونیک توام با گذرای نوسانی ۲۳
شکل (۲-۱۸): نمونه‌ای از اغتشاش فلیکر توام با هارمونیک ۲۴
شکل (۳-۱): بلوک دیاگرام شناسایی کیفیت توان بر مبنای سیستم فیلتر چند کاناله ۲۸
شکل (۳-۲): نمودار انحراف استاندارد برای اغتشاشات کیفیت توان مختلف[۴۲] ۳۱
شکل (۳-۳): ساختار WMSVM پیشنهادی در مرجع[۶۷] ۳۵
شکل (۳-۴): فلوچارت روش پیشنهادی در مرجع[۷۳] ۳۷
شکل (۴-۱): تبدیل فوریه‌ی یک سیگنال[۸۴] ۴۲
شکل (۴-۲): نحوه‌ی عملکرد تبدیل فوریه‌ی کوتاه مدت بر روی یک سیگنال[۸۴] ۴۳
شکل (۴-۳): نحوه‌ی عملکرد تبدیل موجک بر روی یک سیگنال[۸۴] ۴۴
شکل (۴-۴): نحوه‌ی تقسیم‌بندی پنجره‌ها در روش‌های مختلف[۸۴] ۴۴
شکل (۴-۵): یک سیگنال نویزی با ناپیوستگی بسیار کوچک[۸۴] ۴۵
شکل (۴-۶): مقایسه‌ی ضرایب تبدیل فوریه و تبدیل موجک حاصل از شکل(۴-۵)[۸۴] ۴۵
شکل (۴-۷): مقایسه‌ی یک موج سینوسی با یک موجک ۴۶
شکل (۴-۸): موجک مادر db8 ..... ۴۷
شکل (۴-۹): استفاده از تبدیل فوریه برای تجزیه‌ی سیگنال به مؤلفه‌های فرکانسی‌اش[۸۴] ۴۸

شکل (۴-۱۰): استفاده از تبدیل موجک برای تجزیه‌ی سیگنال به موجک‌های مناسب[۸۴] ۴۸
شکل (۴-۱۱): تأثیر فاکتور مقیاس در تابع سینوسی ۴۹
شکل (۴-۱۲): تأثیر فاکتور مقیاس در یک موجک ۴۹
شکل (۴-۱۳): یک موجک شیفت یافته ۵۰
شکل (۴-۱۴): مقیاس بزرگ و کوچک در موجک ۵۰
شکل (۴-۱۵): فرآیند فیلترینگ تک سطحی سیگنال[۸۴] ۵۴
شکل (۴-۱۶): فرآیند فیلترینگ تک سطحی با اعمال روش کاهیدن نمونه و بدون آن[۸۴] ۵۵
شکل (۴-۱۷): تبدیل موجک تک‌سطحی با اعمال روش کاهیدن نمونه بر روی یک سیگنال سینوسی ۵۵
شکل (۴-۱۸): شماتیک درخت تجزیه‌ی موجک[۸۴] ۵۶
شکل (۴-۱۹): تبدیل موجک معکوس[۸۴] ۵۷
شکل (۴-۲۰): فرآیند افزودن نمونه(نمونه‌برداری افزایشی)[۸۴] ۵۷
شکل (۴-۲۱): مراحل تجزیه و بازسازی توسط فیلترهای آینه‌ای[۸۴] ۵۸
شکل (۴-۲۲): بازسازی شکل‌موج با استفاده از ضرایب جزییات و تقریب[۸۴] ۵۸
شکل (۴-۲۳): بازسازی تقریب از روی ضریب مربوطه[۸۴] ۵۹
شکل (۴-۲۴): بازسازی جزییات از روی ضریب مربوطه[۸۴] ۵۹
شکل (۴-۲۵): اجزای سیگنال بازسازی شده در چند سطح[۸۴] ۶۰
شکل (۴-۲۶): تجزیه و بازسازی چند مرحله‌ای[۸۴] ۶۰
شکل (۴-۲۷): مدل ریاضی نرون تک ورودی[۸۷] ۶۸
شکل (۴-۲۸): مدل گسسته‌ی نرون چند ورودی[۸۷] ۶۹
شکل (۴-۲۹): مدل فشرده‌ی نرون چند ورودی[۸۷] ۷۰
شکل (۴-۳۰): تابع انتقال خطی[۸۷] ۷۱
شکل (۴-۳۱): تابع انتقال پله‌ای(باینری) [۸۷] ۷۱
شکل (۴-۳۲): تابع انتقال سیگموئید لگاریتمی(باینری) [۸۷] ۷۲
شکل (۴-۳۳): تابع انتقال سیگموئید تانژانت هیپربولیک[۸۷] ۷۳
شکل (۴-۳۴): شبکه‌ی تک‌لایه[۸۷] ۷۳
شکل (۴-۳۵): مدل فشرده‌ی شبکه‌ی تک‌لایه[۸۷] ۷۴
شکل (۴-۳۶): شبکه‌ی چند لایه[۸۷] ۷۵
شکل (۴-۳۷): مدل فشرده‌ی شبکه‌ی چند لایه[۸۷] ۷۶
شکل (۴-۳۸): آرایش کلی یک شبکه‌ی پرسپترون چند لایه[۸۷] ۸۳
شکل (۵-۱): نحوه‌ی اعمال آستانه‌گذاری سخت و نرم با فرض $\delta_s = 0.5$ بر روی یک تابع پیوسته
الف) سیگنال اصلی، ب) آستانه‌گذاری سخت، ج) آستانه‌گذاری نرم ۹۲
شکل (۵-۲): میانگین مقادیر MSE به دست آمده برای ۱۰۰۰ سیگنال آغشته به نویز، با نسبت سیگنال به نویز مختلف، در روش SURE و در سطوح مختلف تجزیه ۹۵

شکل (۵-۳): میانگین مقادیر MSE به دست آمده برای ۱۰۰۰ سیگنال آغشته به نویز، با نسبت سیگنال به نویز مختلف، در روش SURE ابتکاری و در سطوح مختلف تجزیه ۹۵
شکل (۵-۴): میانگین مقادیر MSE به دست آمده برای ۱۰۰۰ سیگنال آغشته به نویز، با نسبت سیگنال به نویز مختلف، در روش انتخاب آستانه‌ی فراگیر و در سطوح مختلف تجزیه ۹۶
شکل (۵-۵): میانگین مقادیر MSE به دست آمده برای ۱۰۰۰ سیگنال آغشته به نویز، با نسبت سیگنال به نویز مختلف، در روش تخمین کوچک‌ترین حداکثر و در سطوح مختلف تجزیه ۹۶
شکل (۵-۶): فلوچارت روش پیشنهادی ۱۰۸
شکل (۵-۷): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی برای طبقه‌بندی اغتشاشات کیفیت توان با استفاده از شبکه‌های عصبی موازی ... ۱۱۲
شکل (۵-۸): طبقه‌بندی کمبود ولتاژ طبق روش مؤلفه‌های متقارن[۱۴۰] ۱۲۲
شکل (۵-۹): منحنی‌های تئوری برای هر نوع کمبود ولتاژ[۱۴۰] ۱۲۴
شکل (۵-۱۰): فلوچارت روش پیشنهادی برای طبقه‌بندی انواع کمبود ولتاژ سه فاز ۱۳۰
شکل (۵-۱۱): حرکت پنجره‌ی اطلاعاتی سه نمونه‌ای روی شکل موج ولتاژ[۱۴۶] ۱۳۲
شکل (۵-۱۲): نمونه‌ای از یک اغتشاش قطعی ۱۳۲
شکل (۵-۱۳): شکل موج حاصل از اضافه کردن ۱۶ سیکل سیگنال سینوسی به ابتدای سیگنال نشان داده شده در شکل (۵-۱۲) ۱۳۳
شکل (۵-۱۴): خروجی طبقه‌بندی کننده‌ی پیشنهادی برای اغتشاش نشان داده شده در شکل(۵-۱۲) ۱۳۳
شکل (۵-۱۵): فلوچارت روش پیشنهادی ۱۳۴

فهرست جداول

شماره‌ی جدول **صفحه**

جدول (۲-۱): نحوه‌ی طبقه‌بندی اغتشاشات در استاندارد IEC[۸] ۱۱
جدول (۲-۲): نحوه‌ی طبقه‌بندی اغتشاشات در استاندارد IEEE[۹] ۱۲
جدول (۳-۱): نتایج شبیه‌سازی ارائه شده در مرجع[۶۲] ۳۳
جدول (۳-۲): نتایج شبیه‌سازی ارائه شده در مرجع[۶۴] ۳۴
جدول (۳-۳): نتایج شبیه‌سازی روش ارائه شده در مرجع[۷۳] ۳۷
جدول (۳-۴): نتایج شبیه‌سازی ارائه شده در مرجع[۷۵] ۳۸
جدول (۵-۱): معادلات اغتشاشات کیفیت توان استفاده شده در این تحقیق و مراجع[۶۲]، [۶۴]، [۷۳]، [۷۵] و [۱۲۷] ۸۹
جدول (۵-۲): نتایج شبیه‌سازی‌های نویززدایی با روش SURE ابتکاری و تجزیه‌ی سیگنال تا سطح سوم و چند موجک مادر مختلف ۹۷
جدول (۵-۳): نتایج ارزیابی روابط(۵-۱۲) و (۵-۱۳) در تشخیص اغتشاش ۹۸
جدول (۵-۴): درصد طبقه‌بندی صحیح روش پیشنهادی با ۵۷ موجک مادر مختلف ۱۰۰
جدول (۵-۵): پدیده‌های کیفیت توان و کدهای مربوطه ۱۰۶
جدول (۵-۶): درصد طبقه‌بندی شبکه‌های با تعداد نرون‌های مختلف ۱۰۷
جدول (۵-۷): درصد طبقه‌بندی صحیح انواع اغتشاشات با استفاده از شبکه‌ی عصبی با دو لایه‌ی پنهان ۱۰۸
جدول (۵-۸): ارزیابی عملکرد شبکه‌ی طراحی شده بر سیگنال‌های با نسبت سیگنال به نویز مختلف ۱۰۹
جدول (۵-۹): مقایسه‌ی عملکرد تشخیص روش پیشنهادی با مراجع دیگر بر حسب درصد ۱۱۰
جدول (۵-۱۰): مقایسه‌ی عملکرد تشخیص روش پیشنهادی با مراجع[۲] و[۳]، با تعداد اغتشاشات برابر ۱۱۱
جدول (۵-۱۱): درصد طبقه‌بندی صحیح شبکه‌ی عصبی اول با تعداد نرون مختلف ۱۱۳
جدول (۵-۱۲): درصد طبقه‌بندی صحیح شبکه‌ی عصبی اول با ۲۲ نرون ۱۱۳
جدول (۵-۱۳): درصد طبقه‌بندی صحیح شبکه‌ی عصبی دوم با تعداد نرون مختلف ۱۱۳
جدول (۵-۱۴): درصد طبقه‌بندی صحیح شبکه‌ی عصبی دوم با ۲۰ نرون ۱۱۴
جدول (۵-۱۵): درصد طبقه‌بندی صحیح شبکه‌ی عصبی سوم با تعداد نرون مختلف ۱۱۴
جدول (۵-۱۶): درصد طبقه‌بندی صحیح شبکه‌ی عصبی سوم با ۱۱ نرون ۱۱۴
جدول (۵-۱۷): درصد طبقه‌بندی صحیح شبکه‌ی عصبی چهارم با تعداد نرون مختلف ۱۱۵
جدول (۵-۱۸): درصد طبقه‌بندی صحیح شبکه‌ی عصبی چهارم با ۲۳ نرون ۱۱۵
جدول (۵-۱۹): درصد طبقه‌بندی صحیح شبکه‌ی عصبی پنجم با تعداد نرون مختلف ۱۱۶
جدول (۵-۲۰): درصد طبقه‌بندی صحیح شبکه‌ی عصبی پنجم با ۱۱ نرون ۱۱۶
جدول (۵-۲۱): درصد طبقه‌بندی صحیح انواع اغتشاشات با پنج شبکه‌ی عصبی موازی ۱۱۷
جدول (۵-۲۲): مقایسه میان زمان محاسباتی یک شبکه‌ی عصبی با پنج شبکه‌ی عصبی موازی ۱۱۸
جدول (۵-۲۳): مقایسه میان درصد طبقه‌بندی صحیح یک شبکه‌ی عصبی با پنج شبکه‌ی عصبی موازی ۱۱۸
جدول (۵-۲۴): انواع کمبود ولتاژ سه فاز طبق طبقه‌بندی ABC[۱۴۰] ۱۲۱
جدول (۵-۲۵): درصد طبقه‌بندی صحیح روش پیشنهادی با ۵۷ موجک مادر مختلف ۱۲۶

جدول (۵-۲۶): انواع کمبود ولتاژ و کدهای مربوطه ۱۲۸
جدول (۵-۲۷): درصد طبقه‌بندی شبکه با تعداد نرون‌های مختلف ۱۲۹
جدول (۵-۲۸): درصد طبقه‌بندی صحیح انواع کمبود ولتاژ با روش پیشنهادی ۱۲۹
جدول (۵-۲۹): ارزیابی عملکرد شبکه‌ی طراحی شده بر سیگنال‌های با نسبت سیگنال به نویز مختلف ۱۳۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱- تعریف مسئله‌ی کیفیت توان

قبل از ورود به مباحث اصلی لازم است که تعریف مشخصی از واژه‌ی کیفیت توان[1] به دست آید تا بتوان بر اساس این تعریف به ارزیابی کیفیت توان پرداخت. کیفیت توان معمولاً در مورد طیف وسیعی از پدیده‌های الکترومغناطیسی که در یک سیستم قدرت رخ می‌دهند، به کار گرفته می‌شود. بر اساس چهار چوبی که هر مرجع برای خود دارد، می‌توان تعاریف کاملاً متفاوتی برای کیفیت توان مطرح نمود.

پیش از دهه‌ی ۱۹۷۰، تعریف کیفیت توان محدودیت‌های اعمالی به نوسانات فرکانس و ولتاژ از جمله نامتعادلی ولتاژ، گذراهای ولتاژ، هارمونیک‌های ولتاژ و قطعی‌های توان را شامل می‌شد. علاوه بر این، اهداف کنترل کیفیت، کاهش نارضایتی مشترکین، افزایش استفاده از توان الکتریکی و به دست آوردن اطلاعات برای کنترل و برنامه-ریزی بهتر سیستم‌های منبع توان بودند[۱].

در سال ۱۹۸۳ شخصی به نام مینود[2] پیشنهاد کرد کیفیت الکتریسیته‌ی تحویل داده شده توسط منابع به مشترکین با دو فاکتور اضافی مشخص شود: یکی پیوستگی منبع، و دوم" کیفیت" ولتاژ. وی عوامل و اثرات اعوجاج ولتاژ را فهرست کرده و ماهیت، پارامترها و نتایج نوسانات سریع ولتاژ، فرورفتگی‌های ولتاژ ناشی از خطاها، هارمونیک‌ها، نامتعادلی ولتاژ و گذراهای ضربه‌ای را مطرح نمود[۲].

امروزه تعریف عمومی از کیفیت توان وجود ندارد. برای مثال، استاندارد IEEE[3] 1100 کیفیت توان را به عنوان" مفهوم تغذیه کردن و زمین کردن تجهیزات حساس به روشی که برای عملکرد آن تجهیزات مناسب است" تعریف می‌کند[۳]. IEC[4] به جای کیفیت توان، مفهوم سازش الکترومغناطیسی را که به عنوان" توانایی یک تجهیز یا سیستم برای عملکرد رضایت‌بخش در محیط الکترومغناطیسی خود بدون نشان دادن اغتشاشات الکترومغناطیسی تحمل ناپذیر به هرچیزی در آن محیط" تعریف شده، اتخاذ کرده است[۴].

عبارت کیفیت توان گاهی به عنوان مترادف کلمه‌ی قابلیت اطمینان بوده و برای نشان دادن وجود منبع قدرت مناسب و مطمئن به کار می‌رود. تعریفی جامع‌تر از این عبارت به صورت" کیفیت سرویس" مطرح شده است که

[1] Power Quality
[2] Meynaud
[3] Institute of Electric and Electronic Engineers
[4] International Electric/Electrotechnical Commission

شامل سه نقطه نظر قابلیت اطمینان منابع تغذیه، کیفیت توان تحویل داده شده، و نیز تهیه و دسترسی به اطلاعات شبکه می‌باشد[۵].

از نقطه نظر مشترکین می‌توان تعریف زیر را برای پایین بودن کیفیت توان ارائه نمود[۶،۷].

هرگونه تغییر در کمیت‌های ولتاژ، جریان و فرکانس که باعث خرابی و یا عملکرد نادرست تجهیزات مصرف کننده گردد. به عبارت دیگر واژه‌ی کیفیت توان به معنی ارائه‌ی برق با ولتاژ، جریان و فرکانس در محدوده‌ی مجاز می‌باشد، به طوری که برق مورد نیاز مشترکین را بتوان با مشخصات مناسبی برآورده ساخت.

مسئله‌ی کیفیت توان همیشه از مسائل مهم و حیاتی برای شرکت‌های برق بوده است. برای تغذیه‌ی مشترکین، این شرکت‌ها متعهد به تأمین توان الکتریکی با کیفیت تعریف شده هستند. به واسطه‌ی تعهد و حفظ سطح مناسب کیفیت، شرکت‌ها باید توانایی تعیین سطح کیفیت موجود، یعنی سطح جریان اغتشاشی در توان تأمینی و منابع اغتشاشی را داشته و سپس برای حذف یا کاهش این رخدادهای اغتشاشی، اقدامات سنجیده‌ای را به کار گیرند.

۱-۲- دلایل توجه به مبحث کیفیت توان

کیفیت توان از اواخر دهه‌ی هشتاد میلادی به صورت یکی از جدی‌ترین مباحث صنعت برق درآمد. با گسترش سریع کاربردهای گوناگون بارهای غیرخطی و حساس در شبکه‌های توزیع، مسئله‌ی کیفیت توان روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود. این بارها با کشیدن جریان‌های غیرسینوسی از شبکه، باعث کاهش کیفیت توان در شبکه‌های توزیع می‌شوند. از طرفی اثرات اعوجاج‌ها و هارمونیک‌های ولتاژ در سیستم قدرت بسیار جدی می‌باشد و اکثر بارهای حساس جهت عملکرد مناسب به منابع ولتاژ سینوسی نیاز دارند.

به طور کلی درمورد دلایل توجه به مسئله‌ی کیفیت توان می‌توان گفت[۴]:

۱- حساسیت تجهیزات الکتریکی جدید نسبت به تغییرات کیفیت توان بیشتر شده است. بسیاری از وسایل الکتریکی جدید از کنترل کننده‌های میکروپروسسوری و المان‌های الکترونیک قدرت استفاده می‌کنند و این تجهیزات به بسیاری از انواع اعوجاج‌های موجود در شبکه‌ی قدرت حساس می‌باشند.
۲- تأکید روزافزون بر بهبود راندمان کلی شبکه‌های قدرت باعث استفاده از وسایلی از قبیل محرکه‌های موتور با قابلیت تنظیم سرعت و نیز خازن‌های موازی برای بهبود ضریب قدرت شده است. از طرفی

خازن‌ها مشخصه‌ی امپدانس- فرکانس شبکه را تغییر داده و باعث ایجاد پدیده‌ی تشدید و درنتیجه تقویت اعوجاج به صورت گذرا و نیز افزایش سطح اعوجاج هارمونیکی در شبکه می‌شوند. به عبارت دیگر، کاربرد وسایل و تجهیزات جدید که از نیازهای مبرم یک سیستم قدرت مدرن(هم از دیدگاه مشترکین و هم از دیدگاه شرکت‌های توزیع) است، خود عامل به وجود آوردن مشکلات جدیدی شده است که نیاز به بررسی تأثیرات متقابل این گونه تجهیزات بر سیستم و سیستم بر روی این تجهیزات را لازم می‌سازد.

۳- آگاهی نسبت به مسائل کیفیت توان نزد مشترکین بالا رفته است. موضوعاتی از قبیل قطع برق، پایین بودن ولتاژ و پدیده‌های گذرای مربوط به کلیدزنی، روز به روز مورد توجه مشترکین بیشتری قرار گرفته و شرکت‌های برق را وادار می‌سازد که کیفیت برق تحویلی به مشترکین را بهتر سازند.

۴- به دلیل وجود شبکه به صورت مجتمع و به هم پیوسته، خرابی هر المان شبکه روی تجهیزات دیگر شبکه نیز اثر نامطلوبی گذاشته و تبعات بعدی بیشتری را به همراه خواهد داشت. از آن‌جایی که شبکه-های قدرت شبکه‌های وسیعی هستند، احتمال بروز اعوجاج در آن‌ها به دلایل گوناگونی از جمله کیفیت نامناسب برق وجود دارد. درنتیجه انتشار مشکلات ناشی از کیفیت نامناسب برق در یک شبکه‌ی به هم پیوسته در هر لحظه امکان خواهد داشت.

۵- قابل اندازه‌گیری بودن کیفیت توان. وجود دستگاه‌های مانیتورینگ کیفیت توان موجب شده که بتوان کیفیت ولتاژ و جریان را به طور دقیق مانیتور کرد.

۱-۳-حل مشکلات[5] کیفیت توان

پیش از هر چیز باید اندازه‌ی مشکلات کیفیت توان به وسیله‌ی تخمین زدن هزینه‌ی قطع ناشی از تجهیزات سیستم توزیع(تجهیزات مصرف کنندگان و منابع[6]) و گستره‌ی حساسیت به کیفیت توان مشخص شوند. ممکن است بعضی از تجهیزات بدون نیاز به بکارگیری راه حلی بدون حساسیت به اغتشاشات کار کنند، در غیر این صورت باید راه حلی را به کار گرفت. به عنوان مثال می‌توان با نصب تجهیزات کیفیت توان، اغتشاشات را خنثی کرد. یک آنالیز هزینه- سود[7] راه حل‌های مختلف، طراحان شبکه‌ی توزیع را قادر به بکارگیری بهترین راه حل

[5] problems
[6] utilities
[7] cost/benefit analysis