

به نام خداوند جان و خرد

مباحث کاربردی کیفیت توان در شبکه‌های توزیع برق

جلد اول

تألیف:

مهناز یوحنایی

محمد اسماعیل هنرمند

تابستان ۹۷



سرشناسه	یوحناپی، مهناز، ۱۳۵۶ -
عنوان و نام پدیدآور	مباحث کاربردی کیفیت توان در شبکه‌های توزیع برق / تألیف مهناز یوحناپی، محمد اسماعیل هنرمند.
مشخصات نشر	تهران : انتشارات بنی هاشم، ۱۳۹۷ -
مشخصات ظاهری	ج. ۱ : ۱-۸۸-۵۱۴۳-۶۰۰-۹۷۸
شابک	
وضعیت فهرست نویسی	فیا
موضوع	برق - سیستم‌ها -- پایداری
موضوع	Electric power system stability
موضوع	برق نیرو - توزیع
موضوع	Electric power distribution
موضوع	هنرمند، محمد اسماعیل، ۱۳۵۰ -
شناسه افزوده	۱۳۹۷ م / ک ۱۰۰ / ک
رده بندی کنگره	۲۱/۶۲۱:
رده بندی دیویی	۵۲۴۵۳۸۱:
شماره کتابشناسی	
ملی	

مباحث کاربردی کیفیت توان در شبکه‌های توزیع برق

تألیف: مهناز یوحناپی، محمد اسماعیل هنرمند

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۷

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

ناشر: انتشارات بنی هاشم ۰۹۱۳۲۰۷۲۰۴۳

امور رایانه و صفحه آرایی: مبین قلمزن

شابک: ۱-۸۸-۵۱۴۳-۶۰۰-۹۷۸

تعداد صفحات: ۳۵۵ صفحه وزیری

پیش گفتار مولفین

کتاب‌های مفید و مختلفی در زمینه کیفیت توان وجود دارند که از دیدگاه‌های مختلف این موضوع را بررسی و ارزیابی کرده‌اند. اما عدم وجود یک کتاب کاربردی، که علاوه بر عملیاتی نمودن مطالب تئوری، درگاه جدیدی رو به مسائل کیفیت توان امروزی به ویژه در شبکه‌های توزیع برق باز نماید، به شدت احساس می‌شد. زیرا تجهیزات مصرف‌کنندگان، از نظر حساسیت و همچنین اثرگذاری بر پدیده‌های کیفیت توان به ویژه هارمونیک‌ها تغییرات بسیاری نموده است. بر این اساس، در نقاط مختلف شبکه توزیع برق استان گیلان، مطالعاتی عملی و اندازه‌گیری‌های متعددی در زمینه کیفیت توان انجام گرفت و مشاهده گردید که تغییرات قابل تاملی در عملکرد تجهیزات شبکه، دامنه ولتاژ و جریان، منابع تولید کوچک و بزرگ هارمونیک وجود دارند. سوختن ترانسفورماتورها، اتصالات شبکه، تجهیزات مشترکین، ترکیدن خازن‌ها یا سیستم کلیدزنی آنها، عملکرد نامناسب رله‌های انتقال و غیره به دلایل نامعوم، سبب گردید تا تحقیقی هدفمند در این زمینه شروع شود. لذا طی چندین سال، به صورت مستمر، پروژه‌های مختلفی با دغدغه‌های کیفیت توان انجام گرفت. نتایج حاصل هر پروژه، دیدگاه‌ها و مسیرهای جدیدی را نشان می‌داد. سرچشمه‌های نوین سوالات و موضوعات فراوان دیگری برای تحقیق و تفحص بیشتر وجود دارند اما برآن شدیم تا حاصل این مایج در قالب کتابی در اختیار علاقمندان و اندیشمندان فرهیخته میهن عزیزمان قرار گیرد تا با بهره‌گیری از نظرات و انتقادات ارزشمندشان، گستره تحقیقات را افزون نماییم.

در این کتاب، موضوعات متفاوت مرتبط با صورت عملی بررسی شده و نتایج حاصل در شبکه‌های توزیع برق، تحقق یافته است. همچنین موضوعاتی به بار بردی مانند تخمین هارمونیک موجود در شبکه با استفاده از مدل‌سازی، تلفات هارمونیکی، تاثیر هارمونیک بر تجهیزات و عملکرد آنها، روش محاسبه جریمه هارمونیکی و پیشنهاد روشی جهت مشاهده‌پذیری شبکه توزیع، از منظر کیفیت توان و دیگر موارد مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از نقاط قوت این کتاب از دیدگاه مولفان، رجوع به منابع کوچک هارمونیکی یعنی تجهیزات خانگی، اداری و تجاری و پیشنهاد مدل هارمونیکی برای آنها می‌باشد. بتوان به بررسی اثر تجمعی آنها در شبکه پرداخت. بارهای هارمونیکی که هزینه بالای اندازه‌گیری‌های کیفیت توان و بهره‌مندی انسانی مورد نیاز، سبب شده که امکان بررسی رفتار آنها مغفول بماند. هرچند این مطالب شروع یک راه طولانی را نشان می‌دهد ولی این اعتقاد وجود دارد که دیدگاه‌ها و ایده‌های صاحب نظران و متخصصان این حوزه به بهره‌مندی از شبکه‌های توزیع برق و تحقیقات عملی‌تر منجر خواهد شد.

کتاب حاضر می‌تواند به عنوان یک مرجع برای دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد و دکتری و همه مهندسين شاغل در صنعت برق کشور مورد استفاده قرار گیرد و منبع ارزشمندی از اطلاعات مختلف شبکه‌های توزیع برق در حوزه کیفیت توان را در اختیار قرار می‌دهد.

بر خود وظیفه می‌دانیم از راهنمایی‌ها و همراهی‌های استاد گرانقدر جناب آقای دکتر مختاری، استاد دانشگاه صنعتی شریف که در تمامی پروژه‌ها، هدایتگر و راهگشای ما بودند تشکر و قدردانی نماییم. همچنین از همکاری و حمایت‌های بی‌دریغ شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان به ویژه جناب آقای مهندس طالبی، مدیریت محترم عامل و رئیس هیات مدیره، بسیار سپاسگزاریم. و از دفتر تحقیقات و کمیته تحقیقات شرکت نیز جهت همکاری‌های صمیمانه و مجدانه و اهتمام در تامین مالی و چاپ کتاب تقدیر می‌نماییم.

با وجود تلاش های فراوان در نوشتار و ویرایش کتاب، مطمئنیم که هنوز نواقصی در این اثر وجود دارد. از اساتید، همکاران و صاحب نظران گرامی خواهشمندیم هرگونه کاستی و نقص را به دیده اغماض نگریسته و برای اصلاح چاپ های بعدی، نظرات، انتقادات و پیشنهادات ارزشمند خود را به آدرس ذیل اطلاع رسانی فرمایند.

myouhannayee@gilanpdc.ir

امید داریم این اثر کوچک، یاریگر همه تلاشگران صنعت برق کشور، در اعتلای خدمت رسانی به مردم شریف و بزرگ ایران اسلامی باشد.

مؤلفین

www.ketab.ir

پیش گفتار مدیرعامل

پیشرفت تکنولوژی در سال‌های اخیر، بر همه ابعاد زندگی بشر اثر گذار بوده است. نوع و ساختار تجهیزاتی که در زندگی روزمره استفاده می‌شود تفاوت قابل توجهی با سال‌های گذشته دارد. حتی روش‌های زندگی و الگوی مصرف مردم در زمینه‌های مختلف دستخوش تغییر قرار گرفته است. صنعت برق به ویژه، شبکه‌های توزیع برق که آخرین حلقه صنعت عظیم برق کشور می‌باشند و در ارتباط مستقیم با مشترکین هستند نیز از این تغییرات مستثنی نبوده است. استفاده از تجهیزات الکترونیکی و الکترونیک قدرت در گروه‌های مختلف مصرف، سبب تزریق انواع پدیده‌های کیفیت توان به خصوص مرتبه‌های مختلف هارمونیک به شبکه‌های توزیع برق می‌شود. این مسئله، تأثیر مستقیمی بر کیفیت توان تحویلی به مشترکین، تجهیزات شبکه و عملکرد کلی سیستم دارد. شرکت‌های توزیع برق، از طرفی باید ضمن حفظ پایداری شبکه‌های توزیع برق و سرمایه‌های ملی کشور، موظف هستند برق مطمئن، پایدار و با کیفیت مناسب به مشترکین تحویل دهند. زیرا تجهیزات جدید، نسبت به گذشته به پارامترهای کیفیت توان حساس‌تر می‌باشند. بنابراین امروزه، رسیدگی به مسائل کیفیت برق تحویلی به مشترکان، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. بر مبنای سؤالی که از سوی وزارت نیرو و شرکت توانیر نیز مورد توجه ویژه قرار گرفته به گونه‌ای که در سال ۱۳۹۱ اسنادارذ کمیته توان کشور عزیزمان تهیه و تدوین شده است. همچنین در همه کنفرانس‌های بین‌المللی و ملی نظیر شبکه توزیع و بین‌المللی برق، بخش مجزایی به کیفیت توان، اختصاص یافته که نشان از توجه ویژه به مباحث مرتبط با این موضوع می‌باشد.

بر این اساس، اهمیت فراوان و اهمیت و حجم مسائلی مانند کتاب حاضر که به نکات علمی، عملی و تجربیات عملیاتی می‌پردازد بر کسی پوشیده نیست. نویسندگان کتاب با سعی و تلاشی در خور تحسین در طول هفت سال به مطالعه و بررسی موضوع پرداخته و حاصل آن را در این کتاب منعکس نموده‌اند. این کتاب علاوه بر این که به مطالعه و بررسی موضوع پرداخته و حاصل آن را در این کتاب منعکس نموده‌اند. امید است بهره‌گیری از مطالب این کتاب، صنعت برق را در جهت خدمت رسانی به مردم شریف و گرانقدر ایران اسلامی یاری رساند.

جمشید طالبی

رئیس هیات مدیره و مدیرعامل

شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان

فهرست

۱	۱	مرور کلی کیفیت توان در شبکه‌های توزیع برق
۱	۱-۱	مقدمه
۲	۲-۱	کیفیت توان و شاخص‌های موجود
۲	۱-۲-۱	اعوجاج‌ها
۴	۲-۲-۱	عدم تعادل ولتاژ
۵	۳-۲-۱	نوسانات ولتاژ
۶	۴-۲-۱	تغییرات کوتاه مدت ولتاژ؛ افتادگی و برآمدگی ولتاژ
۷	۱-۴-۲-۱	شاخص انرژی افتادگی ولتاژ
۷	۲-۴-۲-۱	شاخص شدت افتادگی ولتاژ
۸	۵-۲-۱	تغییرات بلندمدت ولتاژ
۹	۱-۵-۲-۱	افت ولتاژ
۹	۲-۵-۲-۱	ناهمبندی
۹	۳-۵-۲-۱	تغییرات ولتاژ
۹	۴-۵-۲-۱	محاسبات شاخص‌های مرتبط با تغییرات بلندمدت ولتاژ
۱۰	۵-۵-۲-۱	حدود مجاز شاخص تغییرات بلندمدت ولتاژ
۱۰	۶-۲-۱	گذرگاه‌ها
۱۰	۳-۱	اثرات بارهای غیرخطی بر کیفیت توان
۱۰	۱-۳-۱	تجهیزات فرومغناطیسی
۱۲	۲-۳-۱	مبدل‌های الکترونیک قدرت
۱۳	۳-۳-۱	تجهیزات تخلیه‌ای
۱۵	۴-۳-۱	منابع جدید تولید هارمونیک‌ها
۱۵	۱-۴-۳-۱	صرفه‌جویی انرژی و کنترل موتورها
۱۶	۲-۴-۳-۱	مصرف برق وسایل حمل و نقل
۱۶	۳-۴-۳-۱	انتقال برق به صورت جریان مستقیم با ولتاژ فشار قوی
۱۶	۴-۴-۳-۱	منابع تولید غیر معمول انرژی در سیستم‌های توزیع
۱۶	۵-۴-۳-۱	یکسوسازی جهت شارژ نمودن باتری
۱۶	۶-۴-۳-۱	مبدل‌های کاهنده فرکانس (سیکلو کانورتر)
۱۷	۷-۴-۳-۱	مدولاسیون ضربه‌ای منقطع (PBM)
۱۷	۸-۴-۳-۱	جبران کننده‌های استاتیک توان راکتیو
۱۷	۴-۱	مباحث کاربردی کیفیت توان در شبکه‌های توزیع برق
۲۰	۵-۱	مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری

۶-۱	منابع	۲۰
۲	مدل سازی بارهای غیر خطی	۲۱
۱-۲	مقدمه	۲۱
۲-۲	مدل سازی بارهای غیر خطی	۲۲
۱-۲-۲	مدل منبع جریان ثابت	۲۳
۱-۲-۲	مدل فرکانسی ماتریس ادمینانس	۲۳
۲-۲-۲	مدل نورتن	۲۴
۳-۲	اندازه گیری و مدل سازی آزمایشگاهی	۲۵
۱-۳-۲	لامپ کم مصرف	۲۵
۱-۳-۲	مدل نورتن لامپ کم مصرف	۲۷
۲-۱-۳-۲	اثر خوردگی هارمونیک و نتایج مدل نورتن	۳۰
۲-۳-۲	چال	۳۳
۳-۳-۲	مدل ارزی بارهای غیر خطی مختلف	۳۶
۴-۲	تعریف شاخص های کیفیت باران و سته به مصرف انرژی و زمان	۴۰
۵-۲	جمع بندی	۴۲
۶-۲	منابع	۴۲
۳	سهیم انواع بار در آلودگی هارمونیک شبکه های توزیع برق	۴۵
۱-۳	مقدمه	۴۵
۲-۳	روش پیشنهادی جهت تخمین میزان تزریق هارمونیک بارهای اداری تجاری و خانگی	۴۵
۱-۲-۳	پیش بینی تولید هارمونیک انواع بار	۴۵
۱-۲-۳	شبیه سازی بار اداری نمونه	۴۶
۲-۲-۳	شبیه سازی بار تجاری نمونه	۴۹
۳-۲-۳	شبیه سازی بار خانگی نمونه	۵۰
۳-۳	اندازه گیری هارمونیک تزریق شده توسط انواع بار	۵۱
۴-۳	تخمین سهیم انواع بار در آلودگی هارمونیک یک فیدر	۵۳
۵-۳	سهیم هریک از تجهیزات در ایجاد آلودگی هارمونیک	۵۳

۵۶	سهم هریک از تجهیزات در ایجاد الودگی هارمونیکی یک فیدر	۱-۳
۵۷	جمع بندی	۱-۳
۵۸	منابع	۲-۳
۵۹	۴ تاثیر هارمونیک بر انواع تجهیزات شبکه	
۵۹	مقدمه	۱-۴
۵۹	خطوط سواپی و زمینی توزیع برق	۲-۴
۵۹	تلفات هارمونیکی در خطوط	۱-۲-۴
۶۰	تأثیر بارهای غیر خطی در خطوط	۲-۲-۴
۶۰	کارایی	۳-۲-۴
۶۱	ترانسفورماتور	۳-۴
۶۲	رله های حفاظتی	۴-۴
۶۲	رله های دیجیتال	۵-۴
۶۳	فیلتر ضد تشابه	۱-۵-۴
۶۵	فیلتر باترورث	۱۱۵۴
۶۷	فیلتر جیشف نوع اول	۲-۱-۵-۴
۶۹	فیلتر جیشف نوع دوم	۳-۱-۵-۴
۷۱	تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال	۲-۵-۴
۷۲	معرفی فیلترهای اندازه گیری دیجیتال	۳-۵-۴
۷۳	الگوریتم فوریه	۱-۳-۵-۴
۷۴	الگوریتم حداقل مربعات خطا	۲-۳-۵-۴
۷۴	الگوریتم فیلتر کسینوسی	۳-۳-۵-۴
۷۵	الگوریتم فیلتر معادله دیفرانسیل	۴-۳-۵-۴
۷۵	رله های استاتیکی	۶-۴
۷۵	رله اضافه ولتاژ	۱-۶-۴
۷۶	رله اضافه جریان	۲-۶-۴
۷۶	رله دیفرانسیل	۳-۶-۴
۷۶	سلف و خازن	۷-۴
۷۷	تشدید سری	۱-۷-۴
۷۸	تشدید موازی	۲-۷-۴

۷۸	فیوز	۸-۴
۷۹	ترانسفورماتور ولتاژ (PT)	۹-۴
۷۹	برقگیر	۱۰-۴
۷۹	جمع بندی	۱۱-۴
۷۹	منابع	۱۲-۴
۸۳	۵ اثر هارمونیک بر تلفات و طول عمر ترانسفورماتورهای توزیع	
۸۳	۱-۵ دما	
۸۳	۲-۵ تلفات رانسور	
۸۳	۱-۲-۵ تلفات مقاومت سیمپیچی	
۸۳	۲-۲-۵ تلفات جریانهای فوکو (ادی)	
۸۳	۳-۲-۵ تلفات هیستریزس	
۸۳	۴-۲-۵ تلفات به شکل بار مغناطیسی	
۸۳	۵-۲-۵ تلفات سرگردان	
۸۴	۶-۲-۵ تلفات سیستم خنک کنندگ	
۸۴	۳-۵ اثر هارمونیکهای ولتاژ بر تلفات ترانسفورماتور	
۸۴	۱-۳-۵ اثر هارمونیکهای ولتاژ بر تلفات هیستریزس	
۸۴	۲-۳-۵ اثر هارمونیکهای ولتاژ بر تلفات جریان گرداننده	
۸۵	۳-۳-۵ اثر دما بر تلفات هیستریزس و فوکو	
۸۵	۴-۵ اثر هارمونیکهای جریان بر تلفات ترانسفورماتور	
۸۷	۱-۴-۵ تاثیر هارمونیکها بر تلفات بارداری ترانسفورماتور	
۸۸	۲-۴-۵ ماکزیمم جریان مجاز بار ترانسفورماتور در شرایط غیر سینوسی	
۸۸	۵-۵ تاثیر هارمونیکها بر دما و طول عمر ترانسفورماتور	
۸۹	۶-۵ نتایج حاصل از مطالعات میدانی برای پست فشار متوسط نمونه با بار خانگی-اداری	
۹۳	۷-۵ نتایج حاصل از مطالعات میدانی برای پست فشار متوسط با بار بیمارستانی	
۱۰۰	۸-۵ مقایسه وضعیت پستهای مختلف در شرایط هارمونیکی متفاوت	

۱۰۱	جمع بندی	۹-۵
۱۰۱	منابع	۱۰-۵
۱۰۳	۶ اثر هارمونیک بر تلفات و طول عمر کابل های توزیع برق	
۱۰۳	مقدمه	۱-۶
۱۰۳	اثرات هارمونیک بر مقاومت کابل	۲-۶
۱۰۴	توان تلفاتی کابل در شرایط هارمونیکی	۳-۶
۱۰۵	افزایش دمای کابل در شرایط هارمونیکی	۴-۶
۱۰۵	طول عمر مفید کابل در شرایط هارمونیکی	۵-۶
۱۰۶	۶-۶ بررسی وضعیت فیدر ای نمونه ۱۰۰ در نظر تلفات، دما و طول عمر	
۱۰۶	فیدر نمونه اول: تغذیه کننده بانک	۱-۶-۶
۱۰۸	فیدر نمونه دوم: شتر ۱۰۰ متری	۲-۶-۶
۱۱۰	جمع بندی	۷-۶
۱۱۰	منابع	۸-۶
۱۱۱	۷ خطای لوازم اندازه گیری و زیان مالی ناشی از آن در محیط هارمونیک	
۱۱۱	مقدمه	۱-۷
۱۱۲	تعاریف توان بر اساس استاندارد IEEE ۱۴۵۹	۲-۷
۱۱۲	توان در سیستم های تک فاز	۱-۲-۷
۱۱۵	توان در شبکه سه فاز نامتعادل سینوسی	۲-۲-۷
۱۱۸	توان در شبکه سه فاز متعادل غیر سینوسی	۳-۲-۷
۱۱۹	توان در شبکه سه فاز غیر سینوسی نامتعادل	۴-۲-۷
۱۲۰	۳-۷ بررسی عملکرد کنتورها در آزمایشگاه جهت تعیین خطای هارمونیک در اندازه گیری	
۱۲۰	آزمایش اول: تاثیر فرکانس بر عملکرد کنتور برای یک بار خطی	۱-۳-۷
۱۲۲	آزمایش دوم: خطای کنتور در محاسبه توان اکتیو در شرایط ولتاژ هارمونیک و بار خطی	۲-۳-۷
۱۲۳	آزمایش سوم: خطای کنتور در محاسبه توان ها در شرایط ولتاژ سینوسی و بار غیر خطی	۳-۳-۷
۱۲۳	کوچک	

آزمایش چهارم: خطای کنتور در محاسبه توان ها در شرایط ولتاژ سینوسی و بار غیر خطی قابل توجه	۴-۳-۷
۱۲۵	
آزمایش پنجم: خطای کنتور در محاسبه توان در شرایط ولتاژ سینوسی و ترکیب یک بار خطی و یک بار غیر خطی کوچک	۵-۳-۷
۱۲۶	
آزمایش ششم: خطای کنتور در محاسبه توان در شرایط ولتاژ سینوسی و ترکیب یک بار خطی و یک بار غیرخطی قابل توجه	۶-۳-۷
۱۲۷	
آزمایش هفتم: بررسی نحوه اندازه گیری انرژی راکتیو در کنتور نمونه اول	۷-۳-۷
۱۲۸	
آزمایش هشتم: بررسی نحوه اندازه گیری ضریب توان در کنتور نمونه اول	۸-۳-۷
۱۲۹	
مقایسه نتایج حاصل از آزمایش روی سه نوع کنتور با کاربرد زیاد	۴-۷
۱۳۰	
کنتور نمونه اول	۱-۴-۷
۱۳۰	
کنتور نمونه دوم	۲-۴-۷
۱۳۱	
کنتور نمونه سوم	۳-۴-۷
مقایسه کنتورها از نظر اندازه گیری مولفه هارمونیک توان اکتیو	۵-۷
۱۳۱	
مقایسه کنتورها از نظر اندازه گیری مولفه هارمونیک توان راکتیو	۱-۷
۱۳۱	
مطالعه موردی	۲-۷
۱۳۳	
بررسی و تحلیل نتایج اندازه گیری و مقایسه خطای هارمونیک مشترک نمونه اول	۱-۲-۷
۱۳۴	
بررسی صورتی در یک ساله	۱-۱-۲-۷
۱۳۴	
بررسی نتایج اندازه گیری دوماهه	۲-۱-۲-۷
۱۳۵	
آنالیز وضعیت کیفیت توان مشترک نمونه	۳-۱-۲-۷
۱۳۶	
مقایسه نتایج به دست آمده از مطالعات میدانی چندین مشترک	۲-۲-۷
۱۴۱	
جمع بندی	۷-۳
۱۴۴	
پیشنهادات	۷-۴
۱۴۵	
منابع	۷-۵
۱۴۵	
تخمین تلفات هارمونیک در شبکه های توزیع برق	۸
۱۴۷	
مقدمه	۱-۸
۱۴۷	
ضریب توان در حالت هارمونیک	۸-۲
۱۴۸	
اثر هارمونیک بر روی تلفات	۸-۳
۱۴۹	
تلفات هارمونیک بارهای خانگی ، تجاری و اداری	۸-۴
۱۵۰	

۱۵۰	مشخصه های هارمونیک تجهیزات خانگی، اداری و تجاری	۵-۸
۱۵۰	اندازه‌گیری و شبیه‌سازی تلفات هارمونیک فیدرهای فشار ضعیف و فشار متوسط با بارهای خانگی، تجاری و اداری	۶-۸
۱۵۰	شبیه‌سازی و تخمین تلفات بارهای اداری، خانگی و تجاری	۱-۶-۸
۱۵۸	اندازه‌گیری هارمونیک انواع بارهای خانگی، اداری و تجاری در فیدرهای فشار ضعیف نمونه	۲-۶-۸
۱۶۳	اندازه‌گیری هارمونیک‌ها در فیدرهای فشار متوسط توزیع برق	۳-۶-۸
۱۶۸	جمع بندی	۷-۸
۱۶۸	منابع	۸-۸
۱۶۹	۹ محاسبه جریمه برای مشترکین مولد هارمونیک	
۱۶۹	مقدمه	۱-۹
۱۶۹	مدل‌سازی شبکه از دیدگاه کیفیت توان	۲-۹
۱۷۰	مدل‌سازی بر مبنای افتاد کنندگان	۱-۲-۹
۱۷۰	مدل‌سازی بر مبنای بارهای موجود	۲-۲-۹
۱۷۱	مدل‌سازی بر مبنای نوع پدیده‌های کیفیت توانی	۳-۲-۹
۱۷۲	براساس وقایع	۱-۳-۲-۹
۱۷۲	بر اساس افتشاشات	۲-۳-۲-۹
۱۷۲	مدل‌سازی بر مبنای سناریو	۴-۲-۹
۱۷۲	روش قطعی	۱-۴-۲-۹
۱۷۲	روش احتمالاتی	۲-۴-۲-۹
۱۷۲	مدل‌سازی به روش مستقیم و قطعی هارمونیک	۳-۴-۲-۹
۱۷۳	تخمین زیان مالی ناشی از هارمونیک‌ها در شبکه‌های توزیع	۳-۹
۱۷۳	تخمین زیان مالی ناشی از هارمونیک‌ها بر افزایش تلفات	۱-۳-۹
۱۷۶	تخمین زیان مالی ناشی از هارمونیک‌ها بر کاهش عمر تجهیزات	۲-۳-۹
۱۷۸	تخمین زیان مالی ناشی از عدم عملکرد درست تجهیزات در حضور هارمونیک‌ها	۳-۳-۹
۱۷۸	روش قطعی و مستقیم	۴-۹
۱۷۸	شبیه‌سازی‌های عددی گسترده	۱-۴-۹
۱۷۸	شبیه‌سازی‌های عددی جزئی	۲-۴-۹
۱۷۹	تاثیر هارمونیک‌های ولتاژ	۵-۹
۱۷۹	تأثیر هارمونیک‌های جریان	۶-۹

۱۷۹	مطالعه موردی	۷-۹
۱۸۰	خسارت مالی ناشی از کاهش طول عمر ترانسفورماتور	۱-۷-۹
۱۸۲	خسارت مالی ناشی از افزایش تلفات	۲-۷-۹
۱۸۳	به دست آوردن جریمه هارمونیکی	۳-۷-۹
۱۸۷	تخمین هزینه تلفات هارمونیکی در سایر کشورها	۸-۹
۱۸۹	جمع بندی	۹-۹
۱۸۹	منابع	۱۰-۹
۱۹۱	تخمین کیفیت توان کلی شبکه با اندازه گیری محدود (مشاهده پذیری شبکه از نظر کیفیت توان)	۱۰
۱۹۱	روش کلی محاسبه شاخص های کلی هر نقطه و شاخص سیستمی هر اغتشاش	۱-۱۰
۱۹۳	بررسی انواع استراتژی انتخاب نقاط جهت تعیین کیفیت توان شبکه	۲-۱۰
۱۹۳	روش اول	۱-۲-۱۰
۱۹۳	روش دوم	۲-۲-۱۰
۱۹۴	روش سوم	۳-۲-۱۰
۱۹۴	بارهای سنی	۱-۳-۲-۱۰
۱۹۵	بارهای صنعتی	۲-۳-۲-۱۰
۱۹۵	بارهای تجاری	۳-۳-۲-۱۰
۱۹۵	زمان اندازه گیری	۴-۲-۱۰
۱۹۵	روش EPRI در انتخاب نقاط اندازه گیری در مطالعه کیفیت توان	۵-۲-۱۰
۱۹۶	دسته بندی نقاط اندازه گیری	۱-۵-۲-۱۰
۱۹۸	چگونگی انتخاب تصادفی نقاط اندازه گیری	۲-۵-۲-۱۰
۱۹۹	ضرایب نمونه برداری	۳-۵-۲-۱۰
۱۹۹	انتخاب نقاط اندازه گیری در شبکه نمونه	۳-۱۰
۱۹۹	مشخصات منطقه نمونه	۱-۳-۱۰
۲۰۱	انتخاب نقاط متناظر با بارهای صنعتی در منطقه نمونه	۱-۱-۳-۱۰
۲۰۲	انتخاب نقاط متناظر با بارهای خانگی و تجاری در منطقه نمونه	۱-۱-۳-۱۰
۲۰۳	بررسی وضعیت شبکه برق نمونه	۲-۳-۱۰
۲۰۳	پست های فوق توزیع	۱-۲-۳-۱۰
۲۰۴	پست های توزیع	۲-۲-۳-۱۰
۲۰۶	استراتژی انتخاب نقاط اندازه گیری در منطقه نمونه	۳-۳-۱۰
۲۰۶	دسته بندی نقاط اندازه گیری بر حسب محل جغرافیایی	۱-۳-۳-۱۰
۲۰۹	دسته بندی نقاط اندازه گیری بر اساس نوع بار	۲-۳-۳-۱۰

۲۱۰	دسته‌بندی پست‌های توزیع بر اساس توان	۳-۳-۱۰
۲۱۱	انتخاب نهایی نقاط	۴-۳-۱۰
۲۱۴	شاخص‌های سیستمی جهت تعیین کیفیت توان کلی شبکه توزیع برق	۱۰-۴
۲۱۴	شاخص‌های کلی مبتنی بر مقایسه شکل موج واقعی و ایده آل ولتاژ	۱-۴-۱۰
۲۱۵	خطای مقدار موثر نرمالیزه شده	۱-۱-۴-۱۰
۲۱۶	شاخص کلی سه فاز نرمالیزه شده	۲-۱-۴-۱۰
۲۱۷	معیار انحراف کیفیت ولتاژ	۳-۱-۴-۱۰
۲۱۹	شاخص‌های کلی مبتنی بر ترکیب شاخص‌های تکی برای هر نقطه (شاخص‌های سیستمی)	۲-۴-۱۰
۲۲۱	نشانگر کلی (lg)	۱-۲-۴-۱۰
۲۲۲	شاخص یکپارچه کیفیت توان (UPOI)	۲-۲-۴-۱۰
۲۲۷	شاخص میانگین (lg)	۲-۱-۴-۱۰
۲۲۷	شاخص‌های کلی مبتنی بر تاثیر اقتصادی اغتشاشات بر مشترکین	۳-۴-۱۰
	شاخص‌های کلی پیشنهادی مبتنی بر ترکیب شاخص‌های تکی برای هر اغتشاش (شاخص‌های یکپارچه)	۴-۴-۱۰
۲۲۸	یکپارچه	
۲۲۸	شاخص‌های هارمونیک ولتاژ و جریان در یک شبکه	۱-۴-۴-۱۰
۲۳۰	شاخص UPO بهبود یافته	۲-۴-۴-۱۰
۲۳۱	شاخص کلی مبتنی بر تفکیک شاخص‌های تکی مجاز و غیرمجاز	۳-۴-۴-۱۰
۲۳۲	خلاصه مقایسه شاخص‌های کلی تعریف شده	۴-۴-۴-۱۰
۲۳۳	محاسبه شاخص‌های کلی کیفیت توان (نقاط نمونه (مطالعه موردی)	۵-۱۰
۲۳۳	شاخص‌های تکی کیفیت توان اندازه‌گیری شد	۱-۵-۱۰
۲۳۴	هارمونیک‌ها	۱-۱-۵-۱۰
۲۴۱	شاخص عدم تعادل	۲-۱-۵-۱۰
۲۴۲	فلیکر	۱-۱-۵-۱۰
۲۴۴	سایر پارامترهای الکتریکی اندازه‌گیری شد	۳-۱-۵-۱۰
۲۴۶	تعیین کیفیت توان کلی شبکه	۲-۵-۱۰
	شاخص‌های سیستمی (SI) بر اساس ترکیب جداگانه هر مؤلفه شاخص برای تمام نقاط	۱-۲-۵-۱۰
۲۵۷	شاخص‌های کلی (یکپارچه) مبتنی بر ترکیب تمام شاخص‌های تکی در یک نقطه	۲۰-۲-۵-۱۰
۲۶۴	معرفی نرم‌افزار تعیین نقاط اندازه‌گیری و محاسبه شاخص‌های کلی کیفیت توان	۶-۱۰
۲۶۵	الگوریتم انتخاب نقاط اندازه‌گیری	۱-۶-۱۰
۲۶۵	گام اول: ورود اطلاعات	۱-۱-۶-۱۰
۲۶۸	گام دوم: اجرای الگوریتم و مشاهده خروجی‌ها	۲-۱-۶-۱۰
۲۷۰	تعیین نهایی نقاط اندازه‌گیری؛ پیل (۶)	۳-۱-۶-۱۰
۲۷۱	تعریف سناریوهای مختلف	۲-۶-۱۰
۲۷۱	سناریوها	۱-۲-۶-۱۰
۲۷۳	محاسبه شاخص‌های کلی ارزیابی کیفیت توان توسط نرم‌افزار	۳-۶-۱۰
۲۷۸	نتایج و نمودارهای خروجی نرم‌افزار	۴-۶-۱۰

۲۷۸	شاخص‌های تکی	۱-۴-۶-۱۰
۲۷۹	شاخص‌های سیستمی	۲-۴-۶-۱۰
۲۸۲	شاخص‌های یکپارچه	۳-۴-۶-۱۰
۲۸۵	جمع بندی	۷-۱۰
۲۸۶	منابع	۸-۱۰
۲۸۹	پیوست‌ها	
۲۸۹	پیوست الف: حده مجاز پدیده‌های کیفیت توان	
۲۹۲	پیوست ب: شاخص‌های مختلف کیفیت توان بر اساس استانداردهای موجود	
۲۹۴	پیوست ج: مدل هارمونیک بر خازن‌های ترانس‌های خانگی و اداری	
۳۳۷	پیوست د: پرسشنامه جمع‌آوری اطلاعات، انواع آمازم الکتریکی مورد استفاده در مراکز تجاری و اداری جهت طرح پژوهشی بررسی اثرات بارهای الکتریکی و کیفیت برق	
۳۳۹	پیوست ه: نحوه محاسبه هزینه انرژی الکتریکی	