

هارمونیک‌ها
و
شبکه‌های قدرت

تألیف:

Francisco C. De La Rosa

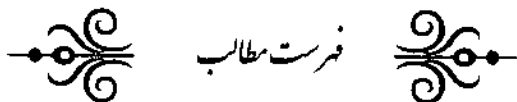
ترجمه:

دکتر مجید گندمکار

مهندس فرزاد وزین‌رام

مهندس عباس نیک‌رو





فصل اول / اعوجاج هارمونیک و شاخص‌های کیفیت توان در شبکه‌های قدرت	۱
۱-۱ مقدمه	۱
۱-۲ اصول تئوری هارمونیک	۲
۱-۳ بارهای خطی و غیرخطی	۴
۱-۳-۱ بارهای خطی	۴
۱-۳-۲ بارهای غیرخطی	۷
۱-۴ سری‌های فوریه	۱۱
۱-۴-۱ انواع متعامد	۱۵
۱-۴-۲ ضرایب فوریه	۱۶
۱-۴-۳ توابع زوج	۱۶
۱-۴-۴ توابع فرد	۱۷
۱-۴-۵ تاثیر تقارن شکل موج	۱۷
۱-۴-۶ مثالی از محاسبه‌ی هارمونیک با استفاده از سری‌های فوریه	۱۸
۱-۴-۶-۱ مثال ۱	۱۸
۱-۴-۶-۲ مثال ۲	۱۹
۱-۵ شاخص‌های کیفیت توان در اعوجاج هارمونیک	۲۰
۱-۵-۱ اعوجاج هارمونیک کل	۲۱
۱-۵-۲ اعوجاج تقاضای کل (TDD)	۲۱
۱-۵-۳ ضریب تاثیر تلفن (TIF)	۲۲
۱-۵-۴ شاخص پیام C	۲۲
۱-۵-۵ محصولات I^2T و V^2T	۲۲
۱-۵-۶ ضریب K	۲۳
۱-۵-۷ ضریب توان جابجایی، اعوجاج و کل	۲۳
۱-۵-۸ پارامترهای مرتبط با ولتاژ	۲۴
۱-۶ کمیت‌های توان در شرایط غیر سینوسی	۲۵
۱-۶-۱ جریان و ولتاژ لحظه‌ای	۲۵
۱-۶-۲ توان لحظه‌ای	۲۵

۲۵	۱-۶-۳ مقدار RMS
۲۵	۱-۶-۴ توان اکتیو
۲۶	۱-۶-۵ توان راکتیو
۲۶	۱-۶-۶ توان ظاهری
۲۷	۱-۶-۷ ولتاژ در شبکه‌های متعادل سه‌فاز
۲۸	۱-۶-۸ ولتاژ در سیستم‌های سه‌فاز نامتعادل
۲۹	مراجع
۳۱	فصل دوم / منابع هارمونیک
۳۱	۲-۱ مقدمه
۳۳	۲-۲ مشخصه‌ی اعوجاج هارمونیک
۳۶	۲-۳ منابع هارمونیک مرده
۳۹	۲-۳-۱ ترانسفورمرها
۴۲	۲-۳-۲ ماشین‌های گردان
۴۴	۲-۳-۳ میدل‌های قدرت
۵۱	۲-۳-۳-۱ میدل‌های توان بزرگ
۵۱	۲-۳-۳-۲ میدل‌های توان اندازه متوسط
۵۳	۲-۳-۳-۳ میدل‌های توان کم
۵۴	۲-۳-۳-۴ دراپ‌های فرکانس متغیر
۵۵	۲-۳-۳-۴-۱ جبران‌ساز استاتیک توزیع (DSTATCOM)
۶۰	۲-۳-۴ لامپ‌های فلورسنت
۶۲	۲-۳-۵ کوره‌های الکتریکی
۶۲	۲-۴ منابع هارمونیک آینده
۶۴	مراجع
۶۵	فصل سوم / استاندارد نمودن سطوح هارمونیک
۶۵	۳-۱ مقدمه
۶۷	۳-۲ حدود اعوجاج هارمونیک
۶۸	۳-۲-۱ هماهنگی با IEEE-519: ۱۹۹۲
۷۱	۳-۲-۲ هماهنگی با حدود اعوجاج هارمونیک IEC
۷۴	مراجع
۷۵	فصل چهارم / اثرات هارمونیک‌ها در شبکه‌های توزیع
۷۵	۴-۱ مقدمه

۷۵	۴-۲ اثرات حرارتی در ترانسفورمرها
۷۶	۴-۲-۱ بارگذاری اضافی هادی نورال
۷۷	۴-۳ اثرات گوناگون در بانک‌های خازنی
۷۷	۴-۳-۱ فشار بیش از حد
۷۸	۴-۳-۲ شرایط نشدید
۷۹	۴-۳-۳ عملکرد غیرمنتظره فیوز
۸۰	۴-۴ عملکرد غیرطبیعی رله‌های الکترونیکی
۸۰	۴-۵ دستگاه‌های روشنایی
۸۲	۴-۶ تداخل تلفی
۸۲	۴-۷ اثرات حرارتی در ماشین‌های گردان
۸۲	۴-۸ گشتاور ضربانی در ماشین‌های دوار
۹۰	۴-۹ عملکرد غیرطبیعی تجهیزات در حالت جامد
۹۰	۴-۱۰ ملاحظات مربوط به بهره‌برداری کابل‌ها در محیط‌های هارمونیک
۹۰	۴-۱۰-۱ ژنراتورها
۹۲	۴-۱۰-۲ هادی‌ها
۹۳	۴-۱۰-۳ وسایل اندازه‌گیری انرژی
۹۴	مراجع
۹۵	فصل پنجم / اندازه‌گیری هارمونیک
۹۵	۵-۱ مقدمه
۹۷	۵-۲ سوال‌های اندازه‌گیری هارمونیک
۹۷	۵-۲-۱ چرا اندازه‌گیری اعوجاج شکل موج
۹۷	۵-۲-۲ چگونه اندازه‌گیری‌ها را انجام دهیم؟
۹۸	۵-۲-۳ چه چیزی برای اندازه‌گیری مهم است؟
۹۹	۵-۲-۴ اندازه‌گیری هارمونیک کجا باید انجام شود؟
۱۰۰	۵-۲-۵ اندازه‌گیری‌ها چه مدت به طول انجامد؟
۱۰۱	۵-۳ فرآیند اندازه‌گیری
۱۰۱	۵-۳-۱ تجهیز
۱۰۱	۵-۳-۲ ترانسیدوسرها
۱۰۲	۵-۴ سایر موارد
۱۰۴	مراجع

فصل ششم / تکنیک‌های فیلترینگ هارمونیک

۶-۱ مقدمه ۱۰۵

۶-۲ جنبه‌های عمومی در طراحی فیلترهای هارمونیک غیرفعال ۱۰۶

۶-۳ فیلترهای تک‌تنظیم ۱۰۶

۶-۳-۱ روابط طراحی برای فیلتر تک‌تنظیم ۱۱۰

۶-۳-۲ نقاط تشدید موازی ۱۱۱

۶-۳-۳ ضریب کیفیت ۱۱۴

۶-۳-۴ مقایسه پیشنهادی کارکرد اجزای فیلتر ۱۱۶

۶-۳-۴-۱ خازن‌ها ۱۱۶

۶-۳-۴-۲ راکتور تنظیم ۱۱۸

۶-۳-۵ تشخیص عدم تعادل ۱۱۹

۶-۳-۶ انتخاب فیلتر و ارزیابی عملکرد ۱۱۹

۶-۴ فیلترهای باندهای ۱۲۱

۶-۵ جنبه‌های مرتبط که در طراحی فیلتر غیرفعال در نظر می‌گیریم ۱۲۳

۶-۶ روشی برای طراحی فیلترهای هارمونیک تنظیم شده ۱۲۴

۶-۶-۱ انتخاب بانک خازن مورد نیاز برای بهبود ضریب قدرت از سطح موجود تا حدود ۰.۹ تا ۰.۹۵ ۱۲۴

۶-۶-۲ انتخاب راکتوری سری با خازن و تنظیم فیلتر به مکانس هارمونیک مطلوب ۱۲۴

۶-۶-۳ آیا پارامترهای عملکرد خازن در محدودیت‌های پیشنهادی IEEE-18 قرار می‌گیرند؟ ۱۲۵

۶-۶-۳-۱ ولتاژ خازن ۱۲۵

۶-۶-۳-۲ جریان گذرنده از بانک خازن ۱۲۵

۶-۶-۳-۳ تعیین ظرفیت بانک خازنی و بررسی این که در محدوده‌ی پیشنهادی IEEE-18 قرار دارد؟ ۱۲۶

۶-۶-۴ تست شرایط تشدید ۱۲۶

۶-۷ مثال ۱: انتخاب یک بانک خازنی ضریب قدرت به فیلتر هارمونیک پنج ۱۲۶

۶-۸ مثال ۲: شبیه‌سازی دیجیتال فیلترهای هارمونیک تک‌تنظیم ۱۲۹

۶-۹ مثال ۳: فیلتر بالاگذر در ترمینال‌های ژنراتور استفاده شده است تا یک شرایط تشدید را کنترل کند ۱۳۸

۶-۱۰ مثال ۴: مقایسه بین چند طرح کاهش هارمونیک با استفاده از دانشگاه تگزاس در برنامه [4]AUSTIN ۱۴۱

HASIP ۱۴۱

مراجع ۱۴۸

فصل هفتم / روش‌های دیگر کاهش اعوجاج هارمونیک

۷-۱ مقدمه ۱۴۹

۷-۲ پیکربندی دوباره (بازآرایی) توپولوژی شبکه ۱۵۰

۷-۳ افزایش استحکام منبع ۱۵۱

۷-۴	حذف هارمونیک با استفاده از مبدل‌های چندپالسه	۱۵۲
۷-۵	راکتورهای سری، عناصر تضعیف‌کننده‌ی هارمونیک	۱۵۵
۷-۶	متعادل‌سازی فاز	۱۵۶
۷-۶-۱	ولتاژ فاز نامتعادل	۱۵۶
۷-۶-۲	اثرات ولتاژ فاز نامتعادل	۱۵۷
۱۵۸	مراجع	
فصل هشتم / آنالیزهای هارمونیکی		
۸-۱	مقدمه	۱۵۹
۸-۲	انتشار فرکانسی قدرت در برابر جریان هارمونیکی	۱۵۹
۸-۳	بیان منابع هارمونیک	۱۶۲
۸-۳-۱	مشخصه‌ی زمان، فرکانس اغتشاش	۱۶۲
۸-۳-۲	شرایط تشدید	۱۶۷
۸-۳-۳	تسریع هارمونیک نوع انفجاری	۱۶۹
۸-۴	واقعیت‌های انتشار هارمونیک	۱۶۹
۸-۵	شارش جریان‌های هارمونیکی	۱۷۱
۸-۵-۱	فلسفه‌ی مدل‌سازی	۱۷۳
۸-۵-۲	مدل‌سازی تک‌فاز در مقابل سه‌فاز	۱۷۴
۸-۵-۳	مدل‌های خط و کابل	۱۷۴
۸-۵-۴	مدل ترانسفورمر برای آنالیز هارمونیکی	۱۷۵
۸-۵-۵	خازن‌های اصلاح ضریب توان	۱۷۶
۸-۶	ارتباط داخلی میان پارامترهای بار و شبکه AC	۱۷۷
۸-۶-۱	ویژگی‌های شبکه‌های توزیع	۱۷۹
۸-۶-۲	برخی ویژگی‌های تاسیسات صنعتی	۱۸۰
۸-۷	روش‌های آنالیز	۱۸۱
۸-۷-۱	محاسبات ساده‌شده	۱۸۱
۸-۷-۲	شبیه‌سازی با نرم‌افزار تجاری	۱۸۳
۸-۸	مثال‌های آنالیز هارمونیکی	۱۸۴
۸-۸-۱	جریان هارمونیکی در طی انرژی‌دار شدن ترانسفورمر	۱۸۴
۸-۸-۲	خطای فاز A به زمین	۱۸۴
فصل نهم / تلفات توان در محیط‌های هارمونیکی		
۹-۱	مقدمه	۱۹۱

۹-۲	معنای تلفات ناشی از هارمونیک.....	۱۹۱
۹-۳	جنبه‌های مرتبط به تلفات در تجهیزات قدرت و شبکه‌های توزیع.....	۱۹۴
۹-۴	تلفات هارمونیک در تجهیزات.....	۱۹۵
۹-۴-۱	عناصر مقاومتی.....	۱۹۵
۹-۴-۲	ترانسفورمرها.....	۱۹۷
۹-۴-۲-۱	ضریب قله.....	۱۹۷
۹-۴-۲-۲	ضریب هارمونیک یا درصد اعوجاج هارمونیک کل.....	۱۹۷
۹-۴-۲-۳	ضریب K.....	۱۹۷
۹-۵	مثالی از تعیین ضریب K.....	۱۹۹
۹-۶	ماشین‌های گردان.....	۱۹۹
	مراجع.....	۲۰۳

مقدمه مترجم

این کتاب به دنبال معرفی دقیقی از منابع جریان هارمونیک، انتشار و کنترل آن‌ها در شبکه‌های برق می‌باشد. امروزه اعوجاج هارمونیکی شکل موج به یکی از موضوعات مهم در شبکه‌های برق تبدیل شده است و در آینده ابعاد وسیع‌تری نیز به خود خواهد گرفت. استفاده روزافزون از تجهیزاتی که نیمه‌هادی‌های الکترونیکی در آن‌ها به کار گرفته شده است و مشکلاتی که این اعوجاج در کارکرد تجهیزات و بهره‌برداری از شبکه‌های برق باقی می‌گذارد، انگیزه‌ای شد تا در کنار تدریس مبحث کلی کیفیت توان برای دانشجویان کارشناسی ارشد مهندسی برق، مرجع مناسبی نیز برای سهم مطالب هارمونیک انتخاب گردد. نتیجه جستجو در مجموعه‌های در دسترس، کتاب وزین حاضر بود که ضمن جامعیت، از سادگی لازم نیز برخوردار می‌باشد. از این رو ترجمه کتاب نیز آغاز شد تا دانشجویان سال آخر کارشناسی و مهندسين شاغل در موسسه‌های برقی و شرکت‌های صنعتی نیز بتوانند پاسخ سوالات خود را در زمینه هارمونیک در آن بیابند.

مباحث مطروحه در این کتاب چنان است که دانشجوی ترم ششم مهندسی برق نیز می‌تواند از همه فصل‌های کتاب استفاده نماید. تجربه سال‌ها پژوهش و آموزش در دانشگاه‌ها و فعالیت‌های صنعتی و عملی نیز به کار گرفته شده است تا در برگردان حاضر، روانی و سادگی متن به عنوان اولویت نخست سرلوحه کار قرار گیرد.

از دانشجویان عزیزم آقایان مهندسین فرزاد وزین‌رام و عباس نیک‌ارو که بار اصلی را بر دوش کشیدند، سپاسگزارم و امیدوارم برگردان حاضر بتواند در ارتقای دانش مهندسین و دانشجویان برق موثر باشد و قدمی کوچک را در رشد صنعت برق کشور سبب شود.

مجید گندمکار

بهار ۱۳۹۱