۱۰ /۱۲/ ۱۳۷۸

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تاریخ مدارک

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده برق

موضوع :
استفاده از فیلتر اکتیو جهت حذف هارمونیک‌ها در بارهای غیر خطی تک فاز

آرام کنعانی

5353

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق قدرت

استاد راهنما :

دکتر محسن کلانتر

آبان ماه ۱۳۷۸

۲۷۸۴۰

تقدیم به

پدر و مادر بزرگوارم

که موجودیت این پایان‌نامه تنها بواسطهٔ

تشویق‌های ایشان بود

چکیده

امروزه می‌توان کمیت و کیفیت انرژی الکتریکی تولیدشده در یک کشور را معیاری مناسب برای سنجش میزان پویایی صنعتی آن کشور درنظرگرفت. یعنی بایستی علاوه بر تأمین کافی این انرژی سطح کیفی آن در حد مطلوب نگاه داشته شود.

بارهای غیرخطی با ایجاد هارمونیک‌های ولتاژ و جریان از جمله مشکلات و مسایل در این زمینه است. باتوجه به اثرات مخرب هارمونیک‌ها استانداردهایی برای محدود نگاه‌داشتن آنها وضع گردید و روش‌های گوناگونی نیز برای مقابله با آنها ارائه گردیده است که از جمله این راهها استفاده از فیلترهای اکتیو قدرت برای مقابله با این مشکل است. عملکرد بهتر، قابلیت تنظیم بیشتر و حجم و وزن کمتر فیلترهای اکتیو بیانگر مزیت استفاده از آن نسبت به فیلترهای پسیو است.

در این پروژه ضمن بررسی منابع و اثرات هارمونیک‌ها، روش‌های حذف آن موردبررسی قرارمی‌گیرد. سپس به طراحی یک فیلتر تکفاز پرداخته می‌شود. کنترل فیلتر براساس مفاهیم کنترل مد لغزشی استوار شده است. نتایج شبیه‌سازی کامپیوتری که برپایه بارهای صنعتی صورت گرفته بیانگر توانایی فیلتر اکتیو طراحی شده برای حذف هارمونیک‌های مزاحم است.

تقدیر و تشکر

از استاد محترم جناب آقای دکتر محسن کلانتر برای تمام کمک‌ها و راهنمایی‌هایشان در طی این مدت صمیمانه کمال تشکر و امتنان را دارم.

و همچنین از آقای مهندس اسکندری و آقای مهندس قاسملو از شرکت برق منطقه‌ای زنجان که کمک‌ها و محبت فراوانشان یاریگر انجام این پروژه بود، قدردانی می‌نمایم.

همینطور از دوستان خوبم آقایان ایمان اخباری‌زاده و محمد مازندرانی که در این مدت همچون دیگر ایام یاریگرم بوده‌اند، سپاسگزارم.

و نیز از اعضای هیئت داوری بخاطر حضور در جلسه دفاعیه و فراهم‌نمودن امکان ارائه پربار آن تشکر نموده، سپاس خود را به حضورشان تقدیم می‌دارم.

پاییز ۷۸

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه

مقدمه ۲

فصل دوم : بررسی اثرات هارمونیک‌ها و روش‌های حذف آن

۲-۱) اثرات هارمونیک‌ها ۱۳

۲-۱-۱) مقدمه ۱۳

۲-۱-۲) اثر هارمونیک‌ها بر خازن‌ها ۱۴

۲-۱-۲-۱) اثر هارمونیک‌ها بر تلفات دی‌الکتریک خازن‌ها ۱۴

۲-۱-۲-۲) اثرات خازن‌ها بر روی هارمونیک‌ها ۱۵

۲-۱-۲-۲-۱) رزونانس موازی ۱۶

۲-۱-۲-۲-۲) رزونانس سری ۱۷

۲-۱-۳) اثر هارمونیک‌ها بر روی لامپهای روشنایی و المانهای حرارتی ۱۸

۲-۱-۴) اثر هارمونیک‌ها بر وسایل اندازه‌گیری ۲۰

۲-۱-۴-۱) اثر هارمونیک بر روی واتمترها ۲۰

۲-۱-۴-۲) اثر هارمونیک بر روی توان ظاهری ۲۰

۲-۱-۵) تأثیر هارمونیک‌ها بر عملکرد رله‌ها ۲۲

۲-۱-۶) تأثیرات دیگر هارمونیک‌ها ۲۳

۲-۲) روش‌های حذف هارمونیک‌ها ۲۳

۲-۲-۱) روش‌های سنتی کاهش هارمونیک‌ها ۲۴

۲-۲-۱-۱) افزایش تعداد پالس‌های مبدل‌های استاتیکی ۲۴

عنوان صفحه

۲-۱-۲-۲) فیلترهای پسیو (غیرفعال) ۲۶
۱-۲-۱-۲-۲) فیلتر پسیو رزونانسی ۲۶
۲-۲-۱-۲-۲) فیلتر پسیو مستهلک‌کننده ۲۷
۲-۲-۲) روش‌های جدید کاهش هارمونیک‌ها ۲۷
۱-۲-۲-۲) مدولاسیون پهنای پالس (PWM) ۲۷
۲-۲-۲-۲) فیلترهای اکتیو ۲۹
۱-۲-۲-۲-۲) فیلتر اکتیوموازی ۳۰

فصل سوم : معرفی یک فیلتر تکفاز (طراحی مدار قدرت و کنترل)

۱-۳) مدلسازی اینورتر ۳۷
۲-۳) کنترل مد لغزشی ۳۹
۱-۲-۳) منطق کنترل ۳۹
۲-۲-۳) کنترل معادل ۴۱
۳-۳) طراحی مدار قدرت ۴۲
۴-۳) طراحی سیستم کنترل ۴۶
۱-۴-۳) محاسبه جریان مرجع ۴۶
۲-۴-۳) تحقق سیستم کنترلی ۴۷
۳-۴-۳) برنامه‌ریزی‌نمودن سیستم ۴۹

فصل چهارم : شبیه‌سازی کامپیوتری فیلتر طراحی‌شده برای یک بار تکفاز. ۵۳

عنوان صفحه

فصل پنجم : شبیه‌سازی کامپیوتری برای یک بار صنعتی (شرکت برق منطقه‌ای زنجان) ۶۶

فصل ششم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱) نتیجه‌گیری ۷۵

۶-۲) پیشنهادات ۷۶

پیوست ۱ ..... ۷۸

پیوست ۲ ..... ۹۸

مراجع ۱۱۲

فهرست تصاویر

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱) : مدار معادل T برای یک ترانسفورماتور ۴
شکل (۲-۱) : منحنی مغناطیس‌شوندگی ۴
شکل (۱-۲) : رزونانس موازی خازن‌ها با امپدانس منبع تغذیه ۱۶
شکل (۲-۲) : کاربرد خازن و ایجاد رزونانس سری ۱۷
شکل (۳-۲) : رزونانس سری ناشی از ترانسفورماتور و خازن در ثانویه آن ۱۸
شکل (۴-۲) : یکسوساز ۳ فاز ۶ تریستوری ۲۴
شکل (۵-۲) : شکل موج ولتاژ فازها و جریان یکی از فازها ۲۵
شکل (۶-۲) : شمای ساده‌شدهٔ مونتاژ سری دو یکسوساز ۲۶
شکل (۷-۲) : مدولاسیون پهنای پالس (تک‌پالس) ۲۸
شکل (۸-۲) : مدولاسیون پهنای پالس سینوسی ۲۹
شکل (۹-۲) : مدار معادل سیستم ارایه شده ۳۲
شکل (۱۰-۲) : تغییرات V در یک فاصله نمونه‌برداری ۳۳
شکل (۱-۳) : اینورتر تکفاز استفاده شده برای فیلتر اکتیو ۳۷
شکل (۲-۳) : جریان سلف موردنیاز برای دستیابی به جریان خط مطلوب ۴۲
شکل (۳-۳) : تابع کلیدزنی و مقدار متوسط آن ۴۳
شکل (۴-۳) : جریان تقریبی خازن ۴۴
شکل (۵-۳) : مقدار تقریبی ولتاژ خازن ۴۵
شکل (۶-۳) : مقدار ۴۶
شکل (۷-۳) : بلوک دیاگرام سیستم کنترلی ۴۷
شکل (۸-۳) : فیلتر اکتیو همراه سیستم کنترلی ۴۸

عنوان **صفحه**

شکل (۹-۳) : فلوچارت برنامه ۵۰
شکل (۱-۴) : فیلتر اکتیو و یکسوکننده تک‌فاز (بار غیرخطی) ۵۴
شکل (۲-۴) : مدار معادل شبیه‌سازی شده در Spice ۵۵
شکل (۳-۴) : جریان کشیده شده توسط یکسوکننده ۵۷
شکل (۴-۴) : شکل موج ولتاژ بدون استفاده از فیلتر ۵۸
شکل (۵-۴) : جریان تصحیح‌شده بوسیله فیلتر ۵۸
شکل (۶-۴) : جریان تصحیح‌شده ایده‌آل ۵۹
شکل (۷-۴) : جریان تزریق‌شده توسط فیلتر ۵۹
شکل (۸-۴) : جریان ایده‌آل برای تزریق ۶۰
شکل (۹-۴) : تابع کلیدزنی u_1 ..... ۶۰
شکل (۱۰-۴) : توابع کلیدزنی u_4 ..... ۶۱
شکل (۱۱-۴) : تغییرات ولتاژ خازن ۶۱
شکل (۱۲-۴) : هارمونیک‌های جریان قبل از استفاده از فیلتر ۶۲
شکل (۱۳-۴) : هارمونیک‌های جریان بعد از استفاده از فیلتر ۶۳
شکل (۱-۵) : یکسوساز دیود نیم‌موج ۶۵
شکل (۲-۵) : یکسوساز کنترل‌شده و موتور DC تحریک جداگانه ۶۶
شکل (۳-۵) : مدار معادل شبیه‌سازی‌شده در Spice ۶۷
شکل (۴-۵) : جریان کشیده شده توسط یکسوکننده (برای فاز R) ۶۸
شکل (۵-۵) : شکل موج ولتاژ بدون استفاده از فیلتر ۶۸
شکل (۶-۵) : جریان تصحیح‌شده بوسیله فیلتر ۶۹
شکل (۷-۵) : جریان تصحیح‌شده ایده‌آل ۶۹

عنوان **صفحه**

شکل (۸-۵) : جریان تزریق‌شده توسط فیلتر ۷۰
شکل (۹-۵) : جریان ایده‌آل برای تزریق..... ۷۰
شکل (۱۰-۵) : تابع کلیدزنی u_1 ..... ۷۰
شکل (۱۱-۵) : تابع کلیدزنی u_4 ..... ۷۱
شکل (۱۲-۵) : تغییرات ولتاژ خازن..... ۷۲
شکل (۱۳-۵) : هارمونیک‌های جریان قبل از استفاده از فیلتر..... ۷۳
شکل (۱۴-۵) : هارمونیک‌های جریان بعد از استفاده از فیلتر..... ۷۳
شکل (پ-۱) : نمودار بلوکی 8951..... ۷۹
شکل (پ-۲) : پایه‌های 8951..... ۸۰
شکل (پ-۳) : خلاصه حافظه داده روی تراشه ۸۴
شکل (پ-۴) : حالت‌های تایمر..... ۸۹
شکل (پ-۵) : عملکرد حالت ۱ در تایمر ۱..... ۹۱
شکل (پ-۶) : نمایی از ساختار وقفه در میکروکنترلرهای 8051..... ۹۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۱-۱) : ماکزیمم مقدار مجاز اعوجاج تکی و کلی جریان مصرف‌کنندگان در کشور آمریکا . . ۸
جدول (۲-۱) : حدهای مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین در شبکه‌های توزیع عمومی ۳۸۰ ولت و ۲۰ کیلوولت ۹
جدول (۳-۱) : حدهای مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین در شبکه‌های فوق توزیع عمومی ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت ۹
جدول (۴-۱) : حدهای مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین در شبکه‌های انتقال فشار قوی ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت ۱۰
جدول (۱-۳) : توابع کلیدزنی u_1 و u_2 . . . . . ۴۰
جدول (۲-۳) : توابع کلیدزنی u_3 و u_4 . . . . . ۴۰
جدول (پ-۱) : عملکرد خاص پایه‌ها ۸۱
جدول (پ-۲) : ادامه ۸۱
جدول (پ-۳) : رجیسترهای کاربرد خاص تایمر ۸۵
جدول (پ-۴) : خلاصهٔ رجیستر TMOD ۸۶
جدول (پ-۵) : حالت‌های تایمر ۸۷
جدول (پ-۶) : خلاصه رجیستر TCON ۸۸
جدول (پ-۷) : خلاصه رجیستر IE ۹۳
جدول (پ-۸) : خلاصه رجیستر IP ۹۴
جدول (پ-۹) : بیت‌های پرچم وقفه ۹۵
جدول (پ-۱۰) : بردارهای وقفه ۹۷

فصل اول

مقدمه

مقدمه

امروزه پیشرفت تمدن و بالارفتن سطح زندگی هر ملت وابسته به پویایی و رشد در عرصهٔ صنعت آن سرزمین است. همچنین پیشرفت صنعتی، رشد اقتصادی و اجتماعی در راستای تولید انرژی الکتریکی ارزان‌قیمت و بدون وقفه قرارمی‌گیرد. از این رو می‌توان کمیت و کیفیت انرژی الکتریکی تولیدشده در یک کشور را معیاری شاخص برای سنجش میزان رشد و پیشرفت محسوب نمود. اما بکارگیری تجهیزات و مصرف‌کننده‌های مختلف خود زاینده مشکلاتی در سطح کیفیت مطلوب این انرژی می‌گردد. از جمله این مسایل و مشکلات وجود هارمونیک‌های جریان و ولتاژ در پی استفاده از بارهای غیرخطی است. هارمونیک مؤلفه سینوسی یک موج یا مقدار متناوبی است که فرکانس آن مضرب صحیحی از فرکانس موج اصلی است. در سال ۱۸۰۷ فوریه ریاضی‌دان فرانسوی نشان که هر موج تناوبی را می‌توان بصورت مجموعه‌ای از موجهای سینوسی توصیف نمود. این مجموعه به نام خود او سری فوریه معروف است. فرکانس هریک از موجهای سینوسی این مجموعه ضریب صحیحی از فرکانس موج تناوبی پایه می‌باشد و هر جمله این سری به عنوان یک هارمونیک فرکانس پایه تعریف می‌گردد. در بررسی‌های عمومی سیستم قدرت معمولاً تنها از فرکانس پایه استفاده می‌شود و مفاهیم ریاضی فازی و اعداد مختلط در پخش بار و محاسبات ولتاژ براساس فرض وجود یک فرکانس بکارگرفته می‌شود[15]. در نتیجه استفاده از زاویه بارها و همچنین قدرت راکتیو در موجهای تناوبی غیرسینوسی بصورت مستقیم ممکن است کار درستی نباشد. موجهای متقارن تنها دارای هارمونیک‌های فرد می‌باشند. در حالیکه موجهای غیرمتقارن علاوه بر هارمونیک‌های فرد دارای هارمونیک‌های زوج نیز هستند. موجها ممکن است متوسطی غیر از صفر داشته باشند در اینگونه موارد در مجموعه سری فوریه یک جمله سینوسی با فرکانس صفر وجود خواهد داشت. که در مفهوم مهندسی برق نشان‌دهنده مؤلفه جریان مستقیم (DC) موج است. البته بیشتر وسایل و تجهیزات سیستم قدرت متقارن می‌باشند و در نتیجه در حالت مانا تنها هارمونیک‌های فرد بدون مؤلفه DC تولید می‌گردد. ولی در مواردی استثنایی عدم تقارن هم در سیستم قدرت وجود دارد. مثلاً یک یکسوکننده نیم موج تک‌فاز جریانهای نامتقارنی تولید می‌کند که هم دارای هارمونیک‌های زوج و هم مؤلفه DC است. یکسوکننده‌های تمام موج

واینورترهای قدرت نیز چنانکه قسمت مثبت و منفی موج تولیدی آنها دقیقاً یکسان نباشد ایجاد هارمونیک‌های زوج می‌نمایند. این موضوع وقتی یکی از وسایل داخلی یک طرف پل درست کار نکند اتفاق می‌افتد. همچنین تجهیزاتی که براساس تخلیه الکتریکی یا ایجاد جرقه کار می‌کنند ممکن است به علت صحیح نبودن زمان جرقه زدن آنها تولید هارمونیک‌های زوج نمایند، این مسأله در مورد کوره‌های قوسی در زمان ذوب کردن آهن‌های قراضه پیش می‌آید.

امروزه مسأله هارمونیک‌های سیستم قدرت را می‌توان در عوامل زیر جستجو کرد.

افزایش اساسی بارهای غیرخطی

در نتیجه تکنولوژی جدید وسایلی مثل یکسوسازهای کنترل‌شده ترانزیستوری (SCR) و ترانزیستورهای قدرت و کنترل‌کننده‌های میکروپروسسوری تولید بار حاوی هارمونیک در سیستم می‌نمایند.

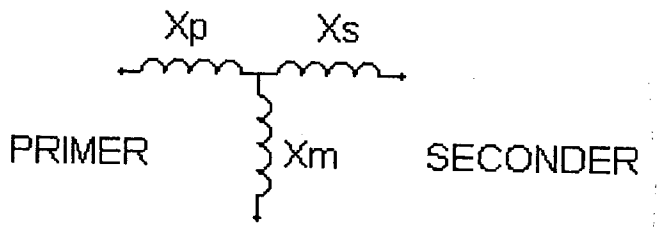
تغییر در فلسفه طراحی تجهیزات

در گذشته تجهیزات براساس ضریب اطمینان‌های بزرگ و بالاتر از ظرفیت موردنیاز طراحی نمی‌شدند. ولی در حال حاضر به علت رقابت شدید میان سازندگان دستگاههای قدرت، تجهیزات دقیقتر طراحی شده و براساس ظرفیت خواسته شده می‌باشند. برای مثال نقطهٔ کار تجهیزاتی که هستهٔ آهنی دارند. بیشتر در ناحیه غیرخطی است عمل نمودن آنها در این ناحیه باعث افزایش سریع هارمونیک‌ها می‌شوند.

پس علت وجود هارمونیک‌ها استفاده از عناصر غیرخطی در سیستم قدرت می‌باشد. عناصر غیرخطی جزیی از مدار الکتریکی هستند که در آن ولتاژ متناسب با جریان نمی‌باشد. در یک سیستم قدرت تقریباً کلیه امپدانس‌های سری خطی هستند این امپدانس‌ها اغلب امپدانس خطوط، کابل‌ها و ترانسفورماتورها می‌باشند. عناصر غیرخطی معمولاً بصورت موازی به شبکه قدرت متصل می‌شوند. در مورد ترانسفورماتورها مسأله کمی فرق می‌کند زیرا هر دو مشخصه خطی و غیرخطی را دارا می‌باشند.

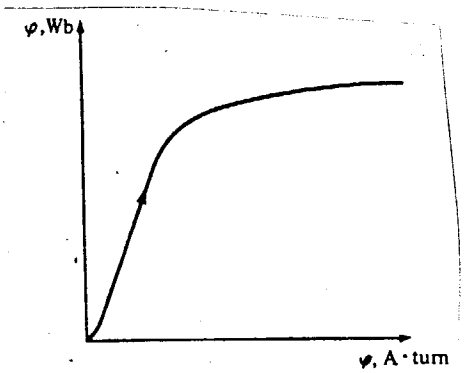
امپدانس (اتصال کوتاه) ترانسفورماتورها که بصورت سری در مدار قرارمی‌گیرد خطی است. در حالیکه امپدانس مغناطیس‌کننده که بطورموازی در مدار قرار می‌گیرد. غیرخطی می‌باشد. بطورکلی عناصر غیرخطی سیستم قدرت را که موجب ایجاد هارمونیک می‌گردند را می‌توان به سه دستهٔ وسایل فرومغناطیسی، مبدل‌های الکترونیک قدرت و تجهیزات تخلیه‌ای تقسیم نمود.

منظور از وسایل فرومغناطیسی ادواتی مانند ترانسفورماتورها و موتورها می‌باشد که از یک سیم‌پیچ که بدور یک هسته آهنی پیچیده شده ساخته شده‌اند. شکل ۱-۱ مدار معادل "T" موتورها و ترانسفورماتورها را که معمولاً اساس محاسبات و بررسی این تجهیزات بر پایه آن است نشان می‌دهد. امپدانس‌های سری خطی هستند ولی امپدانس موازی بطور فاحشی غیرخطی است.



شکل (۱-۱) : مدار معادل T برای یک ترانسفورماتور

شکل ۲-۱ منحنی مغناطیس‌شوندگی را برای یک ماده فرومغناطیسی نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱) : منحنی مغناطیس‌شوندگی [13]