



## سپاسگزاری

### به نام آنکه جان را فکرت آموخت

در گذر پر شتاب زمان از سنگلاخ ثانیه ها آنچه که بر جای می ماند وبوی جاودانگی می گیرد ، کیمیای بی بدیل خردورزی و علم پژوهی است. چندان که عالمان دل آگاه ماندگارترین اصناف آدمیانند و آثار و خدمات ایشان، عالی ترین سهم و نقش را در شکوفایی مدنیت انسانی در سرتاسر گیتی داشته و دارد. پروردگار جان آفرین را به پاس موهبت دلبستگی به دانش و مصاحبت پر فیض دانشوران ، از بن جان می ستایم به شکرانه این تعلق سبز ، سر تعظیم به آستان پر جلال و جبروتش می سایم .

در کار فراهم آوری مقدمات و تدوین صورت نهایی این پژوهش ، خود را وامدار استاد ارجمند و فرهیخته ، جناب آقای **مهندس محمد حسین میر حسینی** می دانم که بر من منت نهاده ، قبول زحمت فرمودند و راهنمایی این پایان نامه را متقبل شدند و همواره در کلیه مراحل تحقیق با راهنمایی های ارزشمند خود راه را به سوی بسامان رساندن این پژوهش هموار نمودند . عالیتین مراتب قدرشناسی را به ساحت والای ایشان پیشکش می دارم ، واز اینکه خالصانه تمامی اندوخته های علمی و عملی خود را در اختیار من قرار داده و در طول دوران تحصیل همواره مشوق من بودند ، سلامت و بهروزی فراوان را از صمیم قلب برای این عزیز خواستارم .

امید آنکه در بهره گیری شایسته از دمی که به وام در جوهره حیات به ودیعه گذارده اند ، همه آن بزرگواران توفیق یافته و دانایی در همه حال ، همچنان بر صدر نشیند و قدر بیند .

### چکیده:

در این پایان نامه (پژوهش) به مطالعه ارتباط بین منحنی مغناطیس شوندگی هسته ترانسفورماتور و ناپایداریهای هارمونیک ناشی از آن می پردازیم. سپس انواع هارمونیک های ولتاژ و جریان و اثرات آنها را بر روی سیستم های قدرت، در حالات مختلف مورد بررسی قرار می دهیم. در قسمت بعد به بررسی چگونگی حذف هارمونیک ها در ترانسفورماتور های قدرت با استفاده از اتصالات ستاره و مثلث سیم پیچی ها می پردازیم. و در نهایت نیز جبرانکننده های استاتیک و فیلترها را به منظور حذف هارمونیک های سیستم قدرت مورد مطالعه قرار می دهیم.

### کلمات کلیدی:

ناپایداری هارمونیک، منحنی مغناطیس شوندگی، فیلترها، سیستم قدرت، هارمونیک ولتاژ و جریان، جبران ساز استاتیک

این پروژه شامل پنج فصل است که :

**فصل اول:** در مورد شناخت ترانسفورماتور و آشنایی کلی با اصول اولیه ترانسفورماتور اصول

کار و مشخصات اسمی ترانسفورماتور و چگونگی تعیین تلفات در ترانسفورماتور و ساختمان و وسایل حفاظتی بکار رفته در ترانسفورماتور بحث می کند .

**فصل دوم:** در مورد رابطه بین  $B - H$  و منحنی مغناطیس شوندگی تلفات پس مانند هسته

جریان تحریکی در ترانسفورماتورها و ناپایداری هارمونیک مرتب با هسته و چگونگی ایجاد ناپایداری کنترل ناپایداری و آنالیز هارمونیک جریان مغناطیس کننده و عناصر اشباع را مورد بررسی قرار می دهد .

**فصل سوم:** در این فصل با هارمونیکهای جریان ولتاژ اثرات آنها و هارمونیکهای جریان در

یک سیستم خازن و یک سیستم پس از نصب خازن و عیوب هارمونیکهای جریان و هارمونیکهای ولتاژ و چگونگی تعیین آنها را مورد بررسی قرار می دهد .

**فصل چهارم:** در این فصل به بررسی عملکرد هارمونیک در ترانسفورماتور می پردازیم و

انواع آن در اتصالات ترانس را مورد بررسی قرار می دهیم و هارمونیک سوم در ترانسفورماتور و ایجاد سیم پیچ ثالثیه یا پایدار کننده برای حذف هارمونیک و همچنین تلفات هارمونیکها در ترانسفورماتور می پردازیم .

**فصل پنجم:** در این فصل به منظور حذف هارمونیکها و اثرات آنها در سیستمهای قدرت، به مطالعه

جبرانکننده های استاتیک می پردازیم. امروزه در سیستم های قدرت مدرت جبران کننده های استاتیک بعنوان کامل ترین جبران کننده ها مطرح هستند.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۶	فصل اول: شناخت ترانسفورماتور
۷	۱-۱ مقدمه
۷	۱-۲ تعریف ترانسفورماتور
۷	۱-۳ اصول اولیه
۷	۱-۴ القاء متقابل
۹	۱-۵ اصول کار ترانسفورماتور
۱۲	۱-۶ مشخصات اسمی ترانسفورماتور
۱۲	۱-۶-۱ قدرت اسمی
۱۲	۱-۶-۲ ولتاژ اسمی اولیه

- ۱۲-۳-۱ جریان اسمی..... ۱۲
- ۱۲-۴-۱ فرکانس اسمی..... ۱۲
- ۱۳-۵-۱ نسبت تبدیل اسمی..... ۱۳
- ۱۳-۷-۱ تعیین تلفات در ترانسفورماتورها..... ۱۳
- ۱۳-۷-۱-۱ تلفات آهنی..... ۱۳
- ۱۳-۷-۲ تلفات فوکو در هسته..... ۱۳
- ۱۴-۷-۳ تلفات هیستریزیس..... ۱۴
- ۱۶-۷-۴ مقدار تلفات هیستریزیس..... ۱۶
- ۱۶-۷-۵ تلفات مس..... ۱۶
- ۱۷-۸-۱ ساختمان ترانسفورماتور..... ۱۷
- ۱۷-۸-۱-۱ مدار مغناطیسی (هسته)..... ۱۷
- ۱۷-۸-۲-۱ مدار الکتریکی (سیم پیچها)..... ۱۷
- ۱۸-۲-۱-۱ تپ چنجر..... ۱۸
- ۱۸-۲-۲-۱ انواع تپ چنجر..... ۱۸
- ۱۹-۸-۳ مخزن روغن..... ۱۹
- ۱۹-۸-۴ مخزن انبساط..... ۱۹
- ۲۰-الف - کاغذهای عایق..... ۲۰
- ۲۰-ب - روغن عایق..... ۲۰
- ۲۰-ج - پوششهای عایق..... ۲۰
- ۲۱-۵-۱ وسایل حفاظتی..... ۲۱
- ۲۱-الف - رله بوخهلتس..... ۲۱
- ۲۲-ب - رله کنترل درجه حرارت سیم پیچ..... ۲۲
- ۲۳-ج - ظرفیت سیلی گازل..... ۲۳
- ۲۴-۹-۱ جرقه گیر..... ۲۴
- ۲۴-۱۰-۱ پیچ ارت..... ۲۴



## فصل دوم: بررسی بین منحنی B-H و آنالیز هارمونیک جریان مغناطیس کننده ۲۶

- ۲-۱ مقدمه ..... ۲۷
- ۲-۲ منحنی مغناطیس شوندگی ..... ۲۷
- ۲-۳ پس ماند (هیستریزیس) ..... ۳۰
- ۲-۴ تلفات پس ماند (تلفات هیستریزیس) ..... ۳۲
- ۲-۵ تلفات هسته ..... ۳۲
- ۲-۶ جریان تحریک ..... ۳۳
- ۲-۷ پدیده تحریک در ترانسفورماتورها ..... ۳۳
- ۲-۸ تعریف و مفهوم هارمونیک ها ..... ۳۶
- ۲-۸-۱ هارمونیک ها ..... ۳۶
- ۲-۸-۲ هارمونیک های میانی ..... ۳۷
- ۲-۹ ناپایداری هارمونیک مرتبط با هسته ترانس در سیستمهای AC-DC ..... ۳۷
- ۲-۱۰ واکنشهای فرکانسی AC-DC ..... ۳۷
- ۲-۱۱ چگونگی ایجاد ناپایداری ..... ۳۹
- ۲-۱۲ تحلیل ناپایداری ..... ۴۰
- ۲-۱۳ کنترل ناپایداری ..... ۴۱
- ۲-۱۴ جریان مغناطیس کننده ترانسفورماتور ..... ۴۲
- ۲-۱۴-۱ عناصر قابل اشباع ..... ۴۲
- ۲-۱۴-۲ وسایل فرومغناطیسی ..... ۴۳

## فصل سوم: تأثیر هارمونیکهای جریان ولتاژ روی ترانسفورماتورهای قدرت ۴۶

- ۳-۱ مقدمه ..... ۴۷
- ۳-۲ مروری بر تعاریف اساسی ..... ۴۷
- ۳-۳ اعوجاج هارمونیکها در نمونه هایی از شبکه ..... ۴۹
- ۳-۴ اثرات هارمونیک ها ..... ۵۱
- ۳-۵ نقش ترمیم در سیستمهای قدرت با استفاده از اثر خازنها ..... ۵۲
- ۳-۵-۱ توزیع هارمونیکهای جریان در یک سیستم قدرت بدون خازن ..... ۵۲

- ۲-۵-۳ توزیع هارمونیکهای جریان در یک سیستم پس از نصب خازن ..... ۵۲
- ۶-۳ رفتار ترانسفورماتور در اثر هارمونیکهای جریان ..... ۵۴
- ۷-۳ عیوب هارمونیکها در ترانسفورماتور ..... ۵۴
- ۱-۷-۳ هارمونیکهای جریان ..... ۵۴
- (۱) اثر بر تلفات اهمی ..... ۵۴
- (۲) تداخل الکترومغناطیسی با مدارهای مخابراتی ..... ۵۴
- (۳) تأثیر بر روی تلفات هسته ..... ۵۵
- ۲-۷-۳ هارمونیک های ولتاژ ..... ۵۵
- (۱) تنش ولتاژ روی عایق ..... ۵۵
- (۲) تداخل الکترواستاتیکی در مدارهای مخابراتی ..... ۵۵
- (۳) ولتاژ تشدید بزرگ ..... ۵۶
- ۸-۳ حذف هارمونیکها ..... ۵۶
- (۱) چگالی شار کمتر ..... ۵۶
- (۲) نوع اتصال ..... ۵۷
- (۳) اتصال مثلث سیم پیچی اولیه یا ثانویه ..... ۵۷
- (۴) استفاده از سیم پیچ سومین ..... ۵۷
- (۵) ترانسفورماتور ستاره - مثلث زمین ..... ۵۷
- ۹-۳ طراحی ترانسفورماتور برای سازگاری با هارمونیک ها ..... ۵۸
- ۱۰-۳ چگونگی تعیین هارمونیکها ..... ۵۹
- ۱۱-۳ اثرات هارمونیکهای جریان مرتبه بالا روی ترانسفورماتور ..... ۵۹
- ۱۲-۳ مفاهیم تئوری ..... ۶۰
- ۱-۱۲-۳ مدل سازی ..... ۶۰
- ۱۳-۳ نتایج عمل ..... ۶۱
- ۱۴-۳ راه حل ها ..... ۶۲
- ۱۵-۳ نتیجه گیری نهایی ..... ۶۲
- فصل چهارم: بررسی عملکرد هارمونیک ها در ترانسفورماتورهای قدرت ۶۳

۴-۱	مقدمه	۶۴
۴-۲	پدیده هارمونیک در ترانسفورماتور سه فاز	۶۴
۴-۳	اتصال ستاره	۶۸
۴-۳-۱	ترانسفورماتورهای با مدار مغناطیسی مجزا و مستقل	۶۸
۴-۳-۲	ترانسفورماتورها با مدار مغناطیسی پیوسته یا تزویج شده	۷۱
۴-۴	اتصال $Y_y$ ستاره با نقطه خنثی	۷۲
۴-۵	اتصال $Dy$	۷۲
۴-۶	اتصال $yd$	۷۳
۴-۷	اتصال $Dd$	۷۴
۴-۸	هارمونیک های سوم در عمل ترانسفورماتور سه فاز	۷۴
۴-۹	سیم پیچ ثالثیه یا پایدارکننده	۷۶
۴-۱۰	تلفات هارمونیک در ترانسفورماتور	۷۷
۴-۱۰-۱	تلفات جریان گردابی در هادی های ترانسفورماتور	۷۷
۴-۱۰-۲	تلفات هیستریزیس هسته	۷۷
۴-۱۰-۳	تلفات جریان گردابی در هسته	۷۸
۴-۱۰-۴	کاهش ظرفیت ترانسفورماتور	۷۹
۸۰	<b>فصل پنجم: جبران کننده های استاتیک</b>	
۵-۱	مقدمه	۸۱
۵-۲	راکتور کنترل شده با تریستور TCR	۸۱
۵-۲-۱	ترکیب TCR و خازنهای ثابت موازی	۸۷
۵-۳	راکتور اشباع شده SCR	۸۸
۵-۳-۱	شیب مشخصه ولتاژ	۸۹
	نتیجه گیری	۹۱
	منابع و مآخذ	۹۲
	چکیده به زبان انگلیسی	۹۴



فهرست تصاویر

عنوان	صفحه
<b>فصل اول</b>	۶
شکل ۱-۱: نمایش خطوط شار	۸
شکل ۱-۲: شمای کلی ترانسفورماتور	۹
شکل ۱-۳: رابطه فوران و نیروی محرکه مغناطیسی	۱۱
شکل ۱-۴: نمایش منحنی های هیسترزیس	۱۵
شکل ۱-۵: نمایش بوشینگ های عایق	۲۰
شکل ۱-۶: یک نمونه رله	۲۲
شکل ۱-۷: رله کنترل درجه حرارت سیم پیچ ها	۲۳
شکل ۱-۸: ظرف سیلی کاژل	۲۳
شکل ۱-۹: شمای کلی یک ترانسفورماتور با مخزن روغن و سیستم جرقه گیر	۲۴
شکل ۱-۱۰: نمایش پیچ ارت	۲۵
<b>فصل دوم</b>	۲۶
شکل ۲-۱: نمایش شدت جریان در هسته چنبره شکل	۲۸
شکل ۲-۲: منحنی مغناطیس شوندگی	۲۹
شکل ۲-۳: منحنی مغناطیس شوندگی	۲۹
شکل ۲-۴: منحنی های هیسترزیس	۳۱
شکل ۲-۵: حلقه های ایستا و پویا	۳۲
شکل ۲-۶: شکل موج جریان مغناطیس کننده	۳۴
شکل ۲-۷: شکل موج جریان تحریک با پسماند	۳۵
شکل ۲-۸: شکل موج شار $\Phi$ برای جریان مغناطیس کننده سینوسی	۳۶
شکل ۲-۹: نمایش هارمونیک های توالی مثبت و منفی	۳۸
شکل ۲-۱۰: ترکیب dc توالی منفی تولید شده توسط مبدل HVDC	۳۹
شکل ۲-۱۱: نمایش امپدانس های AC, DC در روش سیستم حوزه فرکانس	۴۰

شکل ۱۲-۲: مقایسه حالات مختلف اشباع..... ۴۱

شکل ۱۳-۲: مشخصه مغناطیسی ترانسفورماتور..... ۴۲

شکل ۱۴-۲: جریان مغناطیس کننده ترانس و محتوای هارمونیک آن..... ۴۳

شکل ۱۵-۲: مدار معادل T برای یک ترانسفورماتور..... ۴۴

شکل ۱۶-۲: منحنی شار مغناطیسی بر حسب جریان ترانسفورماتور..... ۴۴

شکل ۱۷-۲: نمونه شکل موج جریان مغناطیسی برای یک ترانسفورماتور..... ۴۴

## فصل سوم..... ۴۶

شکل ۱-۳: مولدهای هارمونی جریان..... ۴۷

شکل ۲-۳: هارمونیک پنجم با ضریب ۳۵٪..... ۴۸

شکل ۳-۳: طیف هارمونیک ها..... ۵۰

شکل ۴-۳: جریان تحمیل شده روی جریان اصلی..... ۵۰

شکل ۵-۳: طیف هارمونیک ها..... ۵۰

شکل ۶-۳: جریان تحمیل شده روی جریان اصلی..... ۵۰

شکل ۷-۳: مسیر هارمونیکی جریان در سیستم بدون خازن..... ۵۲

شکل ۸-۳: مسیر هارمونی های جریان در سیستم پس از نصب خازن..... ۵۳

شکل ۹-۳: تداخل الکترو استاتیکی با مدارهای مغناطیسی..... ۵۵

شکل ۱۰-۳: ولتاژ تشدید بزرگ در اثر هارمونیک سوم..... ۵۶

شکل ۱۱-۳: ترانسفورماتور ستاره مثلث زمین، برای حذف هارمونیک های مضرب ۳..... ۵۸

شکل ۱۲-۳: طراحی ترانسفورماتور برای سازگاری با هارمونیک ها..... ۵۸

شکل ۱۳-۳: مدار معادل ساده شده سیم پیچ ترانسفورماتور..... ۶۰

شکل ۱۴-۳: توزیع ولتاژ در طول یک سیم پیچ..... ۶۱

## فصل چهارم..... ۶۳

شکل ۱-۴: نمودار برداری ولتاژهای مؤلفه اصلی، سوم، پنجم و هفتم..... ۶۵

شکل ۲-۴: نمودار برداری ولتاژهای اصلی، هارمونیک پنجم و هفتم..... ۶۶

شکل ۳-۴: نمایش نیروی محرکه الکتریکی emf اتصال ستاره در هر لحظه..... ۶۶

شکل ۴-۴: نمایش هارمونیک های سوم در اتصال مثلث..... ۶۶

شکل ۴-۵: مربوط به نوسان نقطه خنثی ..... ۷۰

شکل ۴-۶: مسیر پارهای هارمونیک سوم (مضرب سه) در ترانسفورماتورهای سه فاز

نوع هسته ای ..... ۷۱

شکل ۴-۷: ترانسفورماتور با اتصال Y-y بدون بار ..... ۷۵

شکل ۴-۸: سیم پیچ سومین (ثالثیه) ..... ۷۷

**فصل پنجم** ..... ۸۰

شکل ۵-۱: ساختمان شماتیک TCR ..... ۸۱

شکل ۵-۲: منحنی تغییرات  $B_L(\sigma)$  بر حسب زاویه هدایت  $\sigma$  و زاویه آتش  $\sigma$  ..... ۸۳

شکل ۵-۳: مشخصه ولتاژ- جریان TCR ..... ۸۴

شکل ۵-۴: یک نمونه صافی با استفاده از L.C ..... ۸۵

شکل ۵-۵: حذف هارمونیک سوم با استفاده از مدار TCR با اتصال ستاره ..... ۸۶

شکل ۵-۶: حذف هارمونیک های پنجم و هفتم با استفاده از مدار TCR با اتصال ستاره ..... ۸۶

شکل ۵-۷: بررسی اختلال در شبکه قدرت قبل و بعد از استفاده از جبران کننده با خازن ..... ۸۷

شکل ۵-۸: منحنی مشخصه ولتاژ- جریان SR ..... ۸۸

شکل ۵-۹: حذف هارمونیک های شبکه قدرت با استفاده از راکتور اشباع شده SR ..... ۸۸

شکل ۵-۱۰: منحنی مشخصه ولتاژ- جریان SR با خازن اصلاح شیب ..... ۸۹

شکل ۵-۱۱: حذف هارمونیک های شبکه قدرت با استفاده از راکتور اشباع شده SR ..... ۸۹

شکل ۵-۱۲: منحنی مشخصه ولتاژ- جریان SR با خازن اصلاح شیب ..... ۹۰

فهرست جداول

عنوان	صفحه
-------	------

فصل دوم.....	
جدول ۱-۲: مقادیر هارمونیک ها در جریان مغناطیسی یک ترانسفورماتور.....	۴۵

Filename: Document1  
Directory:  
Template: C:\Documents and Settings\hadi tahaghoghi\Application  
Data\Microsoft\Templates\Normal.dotm  
Title: سپاسگزارى  
Subject:  
Author: BAHAR  
Keywords:  
Comments:  
Creation Date: 3/28/2012 6:08:00 PM  
Change Number: 1  
Last Saved On:  
Last Saved By: hadi tahaghoghi  
Total Editing Time: 0 Minutes  
Last Printed On: 3/28/2012 6:08:00 PM  
As of Last Complete Printing  
Number of Pages: 12  
Number of Words: 1,454 (approx.)  
Number of Characters: 8,288 (approx.)