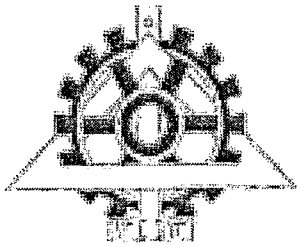
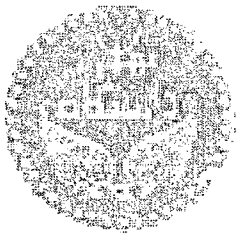
بسم الله الرحمن الرحيم

٩٦٢٠٤





دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

عنوان:

تعیین مقادیر نامی تجدید نظر شده ترانسفورماتورهای توزیع برای بارهای غیرخطی توسط روش اجزاء محدود

نگارش:

محمود غفرانی

استاد راهنما:

دکتر جواد فیض

پایاننامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ

مهندسی برق-گرایش قدرت

۱۳۸۷ /۶/ ۲۵

تیر ماه ۱۳۸۷

۹۶۲۰۴

دانشگاه تهران
پردیس دانشکده های فنی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق –قدرت

عنوان : تعیین مقادیر نامی تجدید نظر شده ترانسفورماتورهای توزیع برای بارهای غیر خطی توسط روش اجزاء محدود

نگارش : محمود غفرانی

این پایان نامه در تاریخ ۸۷/۰۴/۳۱ در مقابل هیأت داوران دفاع گردید و مورد تصویب قرار گرفت.

معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی پردیس دانشکده های فنی : دکتر جواد فیض
رئیس دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر: دکتر پرویز جبه دار مارالانی
معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر: دکتر سعید نادر اصفهانی
استاد راهنما: دکتر جواد فیض
عضو هیأت داوران : دکتر محمد اردبیلی
عضو هیأت داوران : دکتر حسین محسنی
عضو هیأت داوران : دکتر حسن منصف

گواهی اصل اثر

نام و نام خانوادگی: محمود غفرانی

عنوان پایان نامه: تعیین مقادیر نامی تجدید نظر شده ترانسفورماتورهای توزیع برای بارهای غیر خطی توسط روش اجزاء محدود

استاد راهنما: جناب آقای دکتر جواد فیض

اینحانب محمود غفرانی مولف پایان نامه کارشناسی ارشد در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، گرایش قدرت، بدین وسیله اعلام می نمایم که توسط اساتید راهنما و سمینار در جریان قوانین کپی رایت و روش درست اقتباس و نقل مطلب از سایر مراجع و مآخذ قرار گرفته ام و متعهد به حفظ امانت داری و قدردانی از زحمات سایر محققین و نویسندگان می باشم. بدین وسیله اعلام می نمایم که مسئولیت کلیه مطالب درج شده با اینحانب می باشد و در صورت استفاده از اشکال، جداول و مطالب از سایر منابع، بلافاصله مرجع آن ذکر شده است و سایر مطالب از کار تحقیقاتی اینجانب استخراج شده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تهران است.

محمود غفرانی

امضاء

تاریخ: ۸۷ / ۰۴ / ۲۵

تقدیم به پدر بزرگوارم،

و مادر مهربانم

که مونس لحظه‌های زندگی من هستند.

سپاسگزاری

بعد از سپاس از خداوند متعال که همه هستی مرهون لطف و رحمت اوست، لازم می‌دانم از استاد عزیز و گرانقدر آقای پروفسور جواد فیض که در دوران کارشناسی ارشد و طی انجام این پروژه، از محضرشان نهایت استفاده را برده‌ام، تشکر خود را ابراز دارم.

از دوستان عزیزم آقایان مهندس بشیر مهدی ابراهیمی و مهندس محمد رجبی سبدانی که با راهنمایی‌ها و بحث‌های علمی خود به اینجانب کمک شایانی نمودند نیز سپاسگزارم. انجام این تحقیق، بدون زحمات و بردباری پدر و مادر مهربانم ممکن نبود که همواره یار و یاور من بوده و با راهنمایی‌های خود، راهگشای مشکلاتم بودند. همچنین بر خود لازم می‌دانم از مسؤولین دفتری تحصیلات تکمیلی و دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر سرکار خانمها دستمالچی, بیابانی, شریفی و غفاری که همواره با برخورد دلسوزانه خود سعی در پیشبرد امور دانشجویان دارند، قدردانی نمایم.

چکیده

در سالهای اخیر، افزایش پیچیدگی سیستم‌های قدرت و استفاده روز افزون از تجهیزات الکترونیک قدرت و سایر ادوات نیمه‌هادی منجر به افت کیفیت توان در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی شده است. با توجه به نقش بسیار مهم ترانسفورماتورها در سیستم‌های توزیع انرژی، مطالعه رفتار آنها در شرایط کارکرد غیر عادی از اهمیت فراوانی برخوردار است. شناخت هر چه بهتر رفتار ترانسفورماتورها در این شرایط می‌تواند از بروز پاره ای مشکلات اساسی جلوگیری کند.

در این پایان‌نامه، کارکرد در شرایط غیرعادی ترانسفورماتور به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود Opera_2D مدل‌سازی ترانسفورماتور توزیع نمونه به طور جامع انجام شده است. با استفاده از سیگنال‌های به دست آمده از شبیه‌سازی‌ها، عملکرد ترانسفورماتور در شرایط غیرعادی بررسی شده است. با استفاده از تبدیل فوریه سریع (FFT)، تحلیل فرکانسی صورت گرفته و نتایج حاصل از آن جهت ارزیابی هرچه بیشتر عملکرد ترانسفورماتورهای توزیع مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

با استفاده از نتایج به دست آمده از FEM، روشی جهت اصلاح ظرفیت ترانسفورماتور در حضور بار غیر خطی ارائه و مقادیر نامی تجدید شده حاصل از این روش با روش استاندارد مقایسه شده‌اند. مفهوم جدیدی از اصلاح ظرفیت ترانسفورماتور در حضور بار غیرخطی و ولتاژ تغذیه نامتعادل معرفی شده است و با استفاده از این روش جدید مقادیر نامی تجدید شده ترکیبی ترانسفورماتور نمونه محاسبه شده است.

فهرست مطالب

عنوان..... صفحه

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ ترانسفورماتور و انواع آن..... ۲

۱-۳ هارمونیک های سیستم قدرت ۵

۱-۴ مهم ترین منابع هارمونیکی ۵

۱-۵ هارمونیک ها و اثرات آنها بر ترانسفورماتورها ٦

۱-۶ مروری بر مقالات منتشرشده..... ٦

فصل دوم: شرایط غیرعادی برای کار ترانسفورماتور..... ١٤

۲-۱ مقدمه ۱۵

۲-۲ شرایط غیر عادی برای کار ترانسفورماتور..... ۱۵

۲-۳ کار ترانسفورماتور در توان‌های غیر نامی و دمای محیط متفاوت با IEC 76 ..... ١٦

۲-۴ کار ترانسفورماتور در ولتاژها و فرکانس‌های غیرنامی..... ١٦

۲-۵ کار ترانسفورماتور در بارهای نامتعادل ۱۸

۲-۶ کار ترانسفورماتور تحت ولتاژهای نامتعادل..... ۲۸

فصل سوم: تحلیل به روش اجزاء محدود ۳۲

۳-۱ مقدمه ۳۳

۳-۲ نرم افزار مورد استفاده ۳٤

۳-۳ تحلیلگر دو بعدی(Opera 2D) ۳٤

۳-۳-۱ تحلیلگر گذرای دو بعدی(Opera-2d/TR) ۳۵

۳-۳-۲ شرایط مرزی ۳۷

۳-۴ تحلیل ترانسفورماتور با استفاده از Opera-2d/TR ۳۹
۳-٤-۱ مدل‌سازی ترانسفورماتور با توجه به هندسه آن ٤۱
۳-٤-۲ خصوصیات فیزیکی اجزای ترانسفورماتور ٤٥
۳-٤-۳ اعمال مدار خارجی به مدل ٤٦

فصل چهارم: بررسی عملکرد ترانسفورماتور در شرایط کار غیرعادی به روش اجزاء محدود. ۵۱
۴-۱ مقدمه ۵۲
۴-۲ نحوه مدل سازی تحت شرایط کار غیر عادی ترانسفورماتور ۵۲
۴-۲-۱ بار غیرخطی ۵۲
٤-۲-۲ بار نامتعادل ۵۹
٤-۲-۳ ولتاژ تغذیه نامتعادل ٦۱
٤-۲-٤ بار غیرخطی و ولتاژ تغذیه نامتعادل ٦٤

فصل پنجم: تحلیل فرکانسی ترانسفورماتور در شرایط کار غیرعادی ٦٨
۵-۱ مقدمه ٦۹
۵-۲ تحلیل فرکانسی ترانسفورماتور تحت بار غیرخطی ٦۹
۵-۳ تحلیل فرکانسی ترانسفورماتور تحت بار غیرخطی و ولتاژ تغذیه نامتعادل ۷٦

فصل ششم: اصلاح ظرفیت نامی ترانسفورماتور در شرایط کار غیرعادی ۷۹
۶-۱ مقدمه ۸۰
۶-۲ کار ترانسفورماتور در شرایط بار غیرخطی ۸۰
٦-۲-۱ روش‌های تخمین محتوای هارمونیکی بار ۸۰
٦-۲-۲ اثر بارهای غیرخطی بر تلفات ترانسفورماتور ۸۳
٦-۲-۳ اصلاح ظرفیت نامی ترانسفورماتور تحت بار غیرخطی ۸۹
٦-۲-٤ اثر افزایش مرتبه‌های هارمونیکی جریان بار بر کار ترانسفورماتور ۹۵
۶-۳ کار ترانسفورماتور در شرایط ولتاژ تغذیه نامتعادل ۹۷

٦-٣-١ اثر ولتاژ تغذیه نامتعادل بر تلفات ترانسفورماتور..... ٩٨
۶-۴ کار ترانسفورماتور تحت بار غیرخطی و ولتاژ تغذیه نامتعادل ۱۰۰
٦-٤-١ اثر بار غیرخطی و ولتاژ تغذیه نامتعادل بر تلفات ترانسفورماتور..... ۱۰۰
٦-٤-٢ اصلاح ظرفیت نامی ترانسفورماتور تحت بار غیرخطی و ولتاژ تغذیه نامتعادل ١٠٤

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهاد ۱۱۰
۷-۱ جمع بندی و نتیجه‌گیری ۱۱۱
۷-۲ پیشنهادات ۱۱۲

فهرست منابع ۱۱۳

فهرست شکل‌ها

عنوان..... صفحه

شکل ۲-۱: بار تک فاز بین دو فاز اتصال ستاره/ ستاره ۱۹
شکل ۲-۲: بار تک فاز بین فاز و صفر اتصال ستاره/ ستاره..... ۲۰
شکل ۲-۳: بار تک فاز بین فاز و صفر اتصال ستاره/ ستاره با اتصال نقاط صفر ترانسفورماتور و ژنراتور ۲۰
شکل ۲-۴: بار تک فاز بین دو خط اتصال مثلث / مثلث ۲۱
شکل ۲-۵: بار تک فاز بین دو خط اتصال ستاره / مثلث ۲۲
شکل ۲-۶: بار تک فاز بین دو فاز اتصال مثلث / ستاره..... ۲۲
شکل ۲-۷: بار تک فاز بین فاز و صفر اتصال مثلث / ستاره..... ۲۳
شکل ۲-۸: بار تک فاز بین دو فاز اتصال زیگزاگ / ستاره..... ۲٤
شکل ۲-۹: بار تک فاز بین فاز و صفر اتصال زیگزاگ / ستاره ۲٤
شکل ۲-۱۰: بار تک فاز بین دو فاز اتصال ستاره / زیگزاگ ۲۵
شکل ۲-۱۱: بار تک فاز بین فاز و صفر اتصال ستاره / زیگزاگ ۲٦
شکل ۲-۱۲: بار تک فاز بین دو فاز اتصال مثلث / زیگزاگ..... ۲٦
شکل ۲-۱۳: بار تک فاز بین فاز و صفر اتصال مثلث / زیگزاگ ۲۷
شکل ۲-۱۴: بار تک فاز در اتصال مثلث باز / مثلث باز..... ۲۷
شکل ۲-۱۵: بار تک فاز بین دو فاز اتصال T/ T..... ۲۸
شکل ۲-۱۶: (a) سیستم متعادل (b) سیستم نامتعادل ۲۹
شکل ۲-۱۷: مولفه‌های متقارن یک سیستم ولتاژ نامتعادل(a) توالی مثبت (b) توالی منفی (c) توالی صفر ۳۰
شکل ۳-۱: برش عرضی هسته ترانسفورماتور توزیع ٤۱
شکل ۳-۲: سیم‌پیچی فشار ضعیف ٤۲
شکل ۳-۳: برش عرضی هادی‌های سیم‌پیچی فشار ضعیف..... ٤۲
شکل ۳-۴: سیم‌پیچی فشار قوی ٤۳
شکل ۳-۵: برش عرضی هادی سیم‌پیچی فشار قوی ٤۳

شکل ۳-۶: برش مقطعی سیم‌پیچی‌های فشار قوی و ضعیف و عایق بین آنها ٤٤
شکل ۳-۷: دیاگرام اتصالات سیم‌پیچی‌های فشار قوی و فشار ضعیف ترانسفورماتور ٤٥
شکل ۳-۸: منحنی $B-H$ هسته ترانسفورماتور ٤٦
شکل ۳-۹: شمای دو بعدی ترانسفورماتور مدل شده ٤٧
شکل ۳-۱۰: مش بندی ترانسفورماتور ٤٨
شکل ۳-۱۱: شکل موج جریان اولیه ترانسفورماتور تحت بار نامی ٤٨
شکل ۳-۱۲: شکل موج جریان ثانویه ترانسفورماتور تحت بار نامی ٤٩
شکل ۳-۱۳: شکل موج ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور تحت بار نامی ٥٠
شکل ۳-۱۴: شکل موج‌های ثانویه ترانسفورماتور تحت بار نامی ٥٠
شکل ۴-۱: دیاگرام تک خطی ترانسفورماتور در حالت نامی و بار مقاومتی خالص ٥٢
شکل ۴-۲: دیاگرام تک خطی ترانسفورماتور مدل شده با بار غیرخطی ٥٤
شکل ۴-۳: شکل موج جریان ثانویه ترانسفورماتور با بار غیرخطی ٥٧
شکل ۴-۴: شکل موج ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور با بار غیر خطی ٥٨
شکل ۴-۵: شکل موج ولتاژ ثانویه سه فاز ترانسفورماتور با بار غیرخطی ٥٨
شکل ۴-۶: شکل موج جریان ثانویه ترانسفورماتور با بار غیرخطی ٥٩
شکل ۴-۷: جریان‌های ثانویه سه فاز ترانسفورماتور تحت شرایط نامتعادلی بار ٦٠
شکل ۴-۸: دیاگرام تک خطی ترانسفورماتور تحت تغذیه نامتعادل ولتاژ ٦٢
شکل ۴-۹: ولتاژ تغذیه سه فاز ترانسفورماتور تحت ولتاژ تغذیه نامتعادل ٦٢
شکل ۴-۱۰: جریان بار سه فاز ترانسفورماتور تحت شرایط تغذیه نامتعادل ٦٣
شکل ۴-۱۱: ولتاژ ثانویه سه فاز ترانسفورماتور تحت شرایط تغذیه نامتعادل ٦٤
شکل ۴-۱۲: دیاگرام تک‌خطی ترانسفورماتور با بار غیرخطی و ولتاژ تغذیه نامتعادل ٦٥
شکل ۴-۱۳: جریان بار سه فاز ترانسفورماتور با بار غیر خطی و ولتاژ تغذیه نامتعادل ٦٦
شکل ۴-۱۴: ولتاژ ثانویه سه فاز ترانسفورماتور با بار غیرخطی و ولتاژ تغذیه نامتعادل ٦٦
شکل ۵-۱: چگالی طیف توان برای جریان بار ترانسفورماتور در حالت نامی ٧٠
شکل ۵-۲: چگالی طیف توان برای جریان بار ترانسفورماتور تحت بار غیرخطی با THDI=18.22% ... ٧١
شکل ۵-۳: چگالی طیف توان برای جریان بار ترانسفورماتور تحت بار غیرخطی با THDI=33.9% ٧١
شکل ۵-۴: چگالی طیف توان برای ولتاژ پایانه ترانسفورماتور در حالت نامی ٧٣

شکل ۵-۵: چگالی طیف توان برای ولتاژ پایانه ترانسفورماتور تحت بار غیرخطی با THDI=18.22% ... ۷٤
شکل ۵-۶: چگالی طیف توان برای ولتاژ پایانه ترانسفورماتور تحت بار غیرخطی با THDI=33.9% ... ۷٤
شکل ۵-۷: چگالی طیف توان برای ولتاژ پایانه ترانسفورماتور تحت بار غیرخطی با THDI=18.22% و ولتاژ تغذیه نامتعادل ۷٦
شکل ۵-۸: چگالی طیف توان برای ولتاژ پایانه ترانسفورماتور تحت بار غیرخطی با THDI=28.32% و ولتاژ تغذیه نامتعادل ۷۷

فهرست جدولها

عنوان ..... صفحه

جدول ۳-۱: شرایط مرزی ساده در روش اجزاء محدود ۳۸
جدول ۳-۲: شرایط مرزی قراردادی در روش اجزاء محدود ۳۸
جدول ۳-۳: ابعاد هسته ترانسفورماتور توزیع ٤۱
جدول ۳-۴: مشخصات سیم‌پیچی فشار ضعیف ٤۳
جدول ۳-۵: مشخصات سیم‌پیچی فشار قوی ٤٤
جدول ۴-۱: محتوای هارمونیکی جریان مبدل الکترونیک قدرت ۶ پالسه ٥٦
جدول ۵-۱: محتوای هارمونیکی بار غیرخطی در چهار حالت ۷۰
جدول ۵-۲: چگالی طیف توان برای مولفه‌های هارمونیکی جریان بار ترانسفورماتور با بار غیرخطی ۷۳
جدول ۵-۳: چگالی طیف توان برای مولفه‌های هارمونیکی ولتاژ پایانه ترانسفورماتور تحت بارغیرخطی ۷۵
جدول ۵-۴: مشخصات تغذیه و بار ترانسفورماتور برای سه حالت بار غیرخطی و تغذیه نامتعادل ۷٦
جدول ۵-۵: چگالی طیف توان برای مولفه‌های هارمونیکی ولتاژ پایانه تحت بار غیرخطی و ۷۷
جدول ۶-۱: محتوای هارمونیکی بار غیرخطی در چهار حالت ۸٤
جدول ۶-۲: مولفه‌های هارمونیکی ولتاژ ترمینال در چهار حالت بار غیرخطی ۸٤
جدول ۶-۳: مقادیر تلفات محاسبه شده در حالت نامی و چهار حالت بار غیرخطی ۸۸
جدول ۶-۴: ضریب تلفات هارمونیکی محاسبه شده به دو روش برای چهار حالت بار غیر خطی ۸۹
جدول ۶-۵: مشخصات کامل ترانسفورماتور مدل سازی شده ۹۳
جدول ۶-۶: مقادیر حداکثر جریان بار غیرسینوسی مجاز و ظرفیت معادل ترانسفورماتور برای چهار حالت بار غیرخطی ۹٤
جدول ۶-۷: محتوای هارمونیکی جریان بار در چهار حالت بارداری ۹٦
جدول ۶-۸: مقادیر تلفات محاسبه شده در چهار حالت بارداری ۹٦
جدول ۶-۹: ضریب تلفات هارمونیکی محاسبه شده به دو روش برای سه حالت بارداری ۹۷
جدول ۶-۱۰: مقادیرحداکثر جریان بار غیرسینوسی مجاز و ظرفیت معادل ترانسفورماتور برای سه حالت بارداری ۹۷

جدول ۶-۱۱: نامتعادلی دامنه ولتاژ تغذیه ترانسفورماتور (درصد) در سه حالت ۹۸
جدول ۶-۱۲: مقادیر تلفات محاسبه شده ترانسفورماتور در حالت نامی و سه حالت تغذیه نامتعادل ۹۹
جدول ۶-۱۳: مشخصات تغذیه و بار ترانسفورماتور برای سه حالت تغذیه نامتعادل و بار غیرخطی ۱۰۱
جدول ۶-۱۴: مقادیر تلفات محاسبه شده ترانسفورماتور در حالت ولتاژ تغذیه نامتعادل و بار غیرخطی
..... ۱۰۱
جدول ۶-۱۵: مشخصات تغذیه و بار ترانسفورماتور برای سه حالت بار غیرخطی و تغذیه نامتعادل ۱۰۲
جدول ۶-۱۶: مولفه‌های هارمونیکی ولتاژ ترمینال ترانسفورماتور در سه حالت بار غیرخطی و ۱۰۳
جدول ۶-۱۷: مقادیر تلفات محاسبه شده ترانسفورماتور در حالت ولتاژ تغذیه نامتعادل و بار غیرخطی
..... ۱۰٤
جدول ۶-۱۸ : ضریب تلفات هارمونیکی محاسبه شده به دو روش برای سه حالت تغذیه نامتعادل و.. ۱۰٦
جدول ۶-۱۹: مقادیر حداکثر جریان بار غیرسینوسی مجاز و ظرفیت معادل ترانسفورماتور برای سه حالت
تغذیه نامتعادل و بار غیرخطی ۱۰۷
جدول ۶-۲۰: ضریب تلفات هارمونیکی محاسبه شده به دو روش برای سه حالت تغذیه نامتعادل و... ۱۰۸
جدول ۶-۲۱: مقادیر حداکثر جریان بار غیرسینوسی مجاز و ظرفیت معادل ترانسفورماتور برای سه حالت
تغذیه نامتعادل و بار غیرخطی ۱۰۸

فصل اول:

مقدمه

۱-۱ مقدمه

امروزه، انرژی الکتریکی در مقیاسی وسیع به صورت سیستم‌های سه فازه به ولتاژهای ۱۳/۲ و ۲۱ کیلوولت و قدرت‌های ۱۵۰، ۲۵۰ و ۶۰۰ مگا ولت آمپرتولید می‌شود. این انرژی الکتریکی عموماً در ولتاژهای بیش از۱۱۰، ۱۳۲، ۲۷۵، ۴۰۰، ۵۷۰ و ۷۵۰ کیلوولت انتقال می‌یابد. بدین منظور ترانسفورماتورهای سه فاز افزاینده بکار می‌روند و در مراکز مصرف و پستها، انرژی الکتریکی انتقال یافته به ولتاژهایی در حدود ۶۶۰۰، ۴۶۰۰ و ۲۳۰۰ ولت کاهش یافته و توزیع می‌شوند. آنگاه ولتاژ مصارف شهری را تا حدود ۴۴۰، ۳۸۰، ۲۲۰ و ۱۱۰ ولت کاهش می‌دهند.

۱-۲ ترانسفورماتور و انواع آن

ترانسفورماتورها تجهیزاتی هستند که انرژی الکتریکی را از یک مدار به مداری دیگر و از طریق تزویج مغناطیسی سیم پیچی‌ها انتقال می‌دهند. در تمامی موارد به جز اتوترانسفورماتورها، هیچگونه اتصال الکتریکی مستقیمی بین مدارهای مزبور وجود ندارد. هنگام عبور جریان متناوب از یک هادی، میدان مغناطیسی در اطراف آن هادی پدید می‌آید. حال اگر هادی دیگری در میدان مغناطیسی تولید شده توسط هادی اول قرار گیرد به گونه ای که خطوط میدان هادی را قطع کند، آنگاه یک ولتاژ در هادی ثانویه القاء می‌شود. استفاده از میدان مغناطیسی یک سیم پیچ برای القاء ولتاژ در سیم پیچ ثانویه قاعده ای است که کارکرد ترانسفورماتور بر آن اساس استوار است.

- ترانسفورماتورها بر اساس ساختمان و نوع عملکرد، انواع متفاوت زیر را دارند:
- ترانسفورماتورهای قدرت
- ترانسفورماتورهای توزیع
- ترانسفورماتورهای شیفت‌دهنده فاز
- ترانسفورماتورهای یکسوکننده
- ترانسفورماتورهای خشک

- ترانسفورماتورهای روغنی
- ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری
- تنظیم کننده‌های ولتاژ پله‌ای
- ترانسفورماتورهای ولتاژ ثابت

ترانسفورماتورهای قدرت بین ژنراتور و سیستم‌های انتقال مورد استفاده قرار می‌گیرند و معمولا با توان 500 kVA و بیشتر درجه‌بندی می‌شوند. سیستم‌های قدرت شامل نیروگاه‌های تولید و توزیع انرژی، و اتصالات درون سیستم یا اتصالاتی با سیستم‌های مجاورهستند. پیچیدگی این سیستم منجر به گستردگی تنوع ولتاژهای توزیع و انتقال می شود.

ترانسفورماتورهای قدرت عموماً به صورت افزاینده در نیروگاه، یا به صورت کاهنده برای تغذیه سیستم‌های توزیع به کار می‌روند. این ترانسفورماتورها به صورت تک فاز و سه فاز هستند.

ساختمان ترانسفورماتورها به کاربرد آنها وابسته است. ترانسفورماتورهایی که در مکانهای سربسته به کار می‌روند، عمدتا از نوع خشک هستند. در مکان‌های سرباز، معمولاًاز ترانسفورماتورهای نوع روغنی استفاده می شود.

هر ترانسفورماتوری که ولتاژ اولیه را کاهش داده و آنرا به ولتاژ توزیع یا ولتاژ مورد استفاده مصرف کننده تبدیل کند، ترانسفورماتور توزیع نامیده می‌شود. اگرچه بسیاری از استانداردهای صنعتی اصطلاح ترانسفورماتور توزیع را به ترانسفورماتورهایی با درجه بندی 5-500 kVA نسبت می‌دهند، ولی ترانسفورماتورهای توزیع می‌توانند درجه بندی‌های کم تر و بیشتر(5000 kVA و بیشتر) نیز داشته باشند. بنابراین استفاده از درجه بندی به عنوان مقیاسی جهت تعیین نوع ترانسفورماتور چندان قابل قبول نیست.

با اضافه شدن شبکه‌های ولتاژ قوی به سیستم‌های محلی، سیستم‌های با اتصال موازی و یا خطوط انتقال با سطوح ولتاژ متفاوت به صورت استاندارد در آمدند. امروزه برای افزایش قابلیت اطمینان منابع تغذیه الکتریکی و امکان انتقال توان الکتریکی در مسافت‌های زیاد، شبکه‌های قدرت با ولتاژ بسیار قوی به سیستم قدرت متصل گردیده‌اند. پایدارسازی این شبکه‌ها نیازمند کنترل پخش بار است و بدین منظور

از ترانسفورماتورهای شیفت دهنده فاز استفاده می‌شود.

مدارات الکترونیک قدرت برای تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم به کار می‌روند. این مدارات، یکسوکننده نامیده می‌شوند. ادوات الکترونیک قدرتی که جریان مستقیم را به جریان متناوب تبدیل می‌کنند، اینورتر نام دارند. هرگاه یکی از سیم پیچی‌های ترانسفورماتور به یکی از این مدارات متصل شود، آن را ترانسفورماتور مبدل یا یکسوکننده گویند. در استاندارد IEC این ترانسفورماتورها تحت عنوان ترانسفورماتورهای مبدل و در استاندارد IEEE تحت عنوان ترانسفورماتورهای یکسوکننده ذکر شده‌اند.

در ترانسفورماتور نوع خشک عایق در برگیرنده سیم پیچی‌ها گاز یا یک ترکیب شیمیایی جامد است. این ترانسفورماتورها در مقایسه با ترانسفورماتورهای روغنی، سبک تر و غیر قابل اشتعال هستند.

ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری برای جداسازی مدار اصلی از تجهیزات اندازه‌گیری و کنترل مورد استفاده قرار می‌گیرند. این جدا سازی با تزویج مغناطیسی دو مدار حاصل می‌شود. علاوه بر جداسازی، مقادیر ولتاژ و جریان به سطوح ایمن تر کاهش داده می‌شوند. ترانسفورماتورهای اندازه گیری به دو دسته ترانسفورماتورهای ولتاژ و ترانسفورماتورهای جریان تقسیم می‌شوند.

سیستم‌های توزیع باید به گونه‌ای طراحی شوند که مقادیر ولتاژ همیشه در محدوده مجاز استاندارد قرار گیرند. این امر از طریق استفاده از تجهیزات کنترل ولتاژ و طراحی موثر سیستم امکان پذیر است . ترانسفورماتورهای قدرت تنظیم کننده، تنظیم کننده‌های ولتاژ پله ای سه فاز و تنظیم کننده‌های ولتاژ پله ای تک فاز از جمله تجهیزات ترانسفورماتوری هستند که برای بهبود پروفایل ولتاژ سیستم قدرت به کار می‌روند.

ترانسفورماتورهای ولتاژ ثابت سال های زیادی به عنوان وسیله ایزولاسیون سر و صدا به کار رفته اند. در سال های اخیر، این ترانسفورماتورها به عنوان وسیله‌ای جهت حفاظت از فرورفتگی ولتاژ در تجهیزات صنعتی و تجاری کاربرد پیدا کرده اند.

۱-۳ هارمونیک های سیستم قدرت

در سالیان اخیرکیفیت توان به دلیل افزایش پیچیدگی سیستم‌های قدرت وتوسعه روزافزون تجهیزات الکتریکی، اهمیت زیادی یافته است. یکی از مهم ترین مسایل کیفیت توان، هارمونیک در سیستم های قدرت است.

به طور کلی، اغتشاشات موجهای ولتاژ و جریان بر حسب فرکانس‌های هارمونیکی که ضرائب صحیحی از فرکانس اصلی هستند، بیان می‌شوند. برای نخستین بار در سال ۱۹۸۵ هارمونیک‌های سیستم قدرت (توسط آریلاکا) منتشر شد [۱] که ضمن جمع آوری تجربیات دهه‌های قبل، به توصیف دلایل حضور ولتاژها و جریان‌های هارمونیکی و همچنین عوامل ایجاد، استانداردها، اندازه‌گیری، شبیه‌سازی و حذف آنها پرداخت.

از آن پس، افزایش غیر منتظره تعداد و مقادیر نامی عناصر حالت جامد[1] برای کنترل سیستم‌ها و تجهیزات قدرت سبب بروز مشکلات هارمونیکی در داخل و خارج سیستم قدرت گردید. حذف هارمونیک‌ها همواره از روش‌های پرهزینه وغیرمتداول است ومعمولاطبق نظریه " پیشگیری بهتر از درمان "، تفکر و سرمایه‌گذاری بیشتری در مراحل طراحی انجام می‌پذیرد. لکن، روش‌های پیشگیری نیز پر هزینه هستند و بهینه‌سازی آنها که از مراحل اساسی طراحی بشمار می‌رود، به شدت متکی به تخمین‌های تئوری است.

۱-۴ مهم ترین منابع هارمونیکی

منابع هارمونیکی را می توان به سه گروه زیر تقسیم کرد:

- تعداد زیادی تجهیزات غیر خطی توزیع شده در سیستم با مقادیر نامی محدود
- بارهای غیرخطی بزرگ با تغییرات پیوسته و تصادفی
- مبدل‌های استاتیکی بزرگ و قطعات الکترونیک قدرت در حدود مقادیر نامی سیستم.

---

[1] Solid State Devices