



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه ی کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان:

تدوین نرم افزار محاسبه ی پارامترهای

مدل مشروح ترانسفورماتور

استاد راهنما: سید هادی حسینی

نگارش: مینا حشمتی

تدوین: شهریور ۹۱

<< منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت >>

پیشگفتار

با حمد و سپاس به درگاه خداوند متعال که بدون اذن و یاری او هیچ کاری انجام پذیر نیست. در ابتدا بر خود لازم می دانم که از تمامی بزرگواران و اساتیدی که در طول چهار سال دوران تحصیلی اینجانب در دانشگاه زنجان از اطلاعات و الطاف ایشان بهره مند گشتم، کمال تشکر و قدردانی را نمایم.

مهم تر از همه از جناب آقای دکتر حسینی استاد راهنمای ارجمند، که در تمامی مراحل انجام این پروژه بنده را راهنمایی فرمودند نهایت سپاس گذاری را دارم. بی شک بدون لطف و راهنمایی های ایشان انجام این پروژه مقدور نبود.

همچنین از برادر عزیزم جناب آقای مهندس احمد حشمتی که در طول انجام این پروژه از اطلاعات و الطاف بی دریغ ایشان نهایت بهره مندی را داشته ام، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

جا دارد از دوست گرامی سرکار خانم سمانه نصیری به خاطر مساعدت هایی که در طول انجام این پروژه با من داشته اند، تشکر و قدردانی نمایم.

و در نهایت با تشکر از خانواده ی محترم به خاطر کمک ها و دلگرمی های ایشان که همیشه مشوقان دانشمندی اینجانب بودند و همچنین با تشکر از مهندسین محترم شرکت ایران ترانسفو به علت همکاری به عمل آمده در مرحله ی چک برنامه ی تدوین شده.

بی شک این پروژه عاری از نقص و اشتباه نیست. امید آنکه این مجموعه ی گردآوری شده مورد استفاده ی دانش پژوهان عزیز قرار گیرد و آن عزیزان نیز کمبودها و کاستی های این مجموعه را به لطف خود

ببخشند.

مینا حشمتی

تابستان ۹۱

فهرست

۱.....	چکیده	۱
۲.....	فصل اول ضرورتی بر اهمیت تحلیل مدل مشروح ترانسفورماتور	۲
۵.....	فصل دوم معرفی روش های مختلف برای شناسایی پارامتر های مدل مشروح RLCM	۵
۶.....	۲-۱ مدل ترمینالی	۶
۶.....	۲-۲ مدل داخلی (مشروح)	۶
۷.....	۲-۲-۱ مدل مشروح بر مبنای روش المان محدود	۷
۸.....	۲-۲-۲ مدل مشروح بر مبنای تئوری آشوب	۸
۸.....	۲-۲-۳ مدل مشروح بر مبنای روش تحلیلی	۸
۱۰.....	فصل سوم مدار معادل مدل مشروح ترانسفورماتور و تعیین پارامترهای آن	۱۰
۱۲.....	۳-۱ تعیین اندوکتانس های خودی و متقابل	۱۲
۱۶.....	۳-۲ تعیین ظرفیت های الکتریکی	۱۶
۱۶.....	۳-۲-۱ تعیین خازن سری	۱۶
۱۷.....	۳-۲-۱-۱ خازن بین دورها	۱۷
۱۸.....	۳-۲-۱-۲ خازن بین بخش ها	۱۸
۱۸.....	۳-۲-۲ تعیین خازن موازی	۱۸

۳-۳	تعیین تلفات.....	۲۶
۳-۳-۱	تعیین تلفات عایقی.....	۲۶
۳-۳-۲	تعیین تلفات اهمی.....	۲۷
فصل چهارم	تعیین پارامترهای مدل مشروح ترانسفورماتور برای انواع بوبین ها.....	۲۸
۴-۱	بخش اول.....	۳۱
۴-۱-۱	بوبین لایه ای.....	۳۱
۴-۱-۱-۱	تعیین اندوکتانس خودی یک المان لایه ای.....	۳۱
۴-۱-۱-۲	تعیین اندوکتانس متقابل بین دو المان لایه ای.....	۳۳
۴-۱-۱-۳	تعیین خازن سری یک المان لایه ای.....	۳۵
۴-۱-۱-۴	تعیین خازن موازی یک المان لایه ای.....	۳۷
۴-۱-۱-۵	تعیین مقاومت عایقی خازن موازی یک المان لایه ای.....	۳۷
۴-۱-۱-۶	تعیین مقاومت عایقی خازن سری یک المان لایه ای.....	۳۷
۴-۱-۱-۷	تعیین مقاومت اهمی یک المان لایه ای.....	۳۸
۴-۱-۲	بوبین بشقابی.....	۳۸
۴-۱-۲-۱	تعیین اندوکتانس خودی یک المان بشقابی.....	۳۹
۴-۱-۲-۲	تعیین اندوکتانس متقابل بین دو المان بشقابی.....	۴۰
۴-۱-۲-۳	تعیین خازن سری یک المان بشقابی.....	۴۱

المان بشقابی ساده و بدون گیتز کانال..... ۴۸

المان بشقابی ساده با گیتز کانال..... ۴۹

المان بشقابی درهم..... ۵۰

۴-۱-۲-۴ تعیین خازن موازی یک المان بشقابی..... ۵۱

۴-۱-۲-۵ تعیین مقاومت عایقی خازن موازی یک المان بشقابی..... ۵۱

۴-۱-۲-۶ تعیین مقاومت عایقی خازن سری یک المان بشقابی..... ۵۲

۴-۱-۲-۷ تعیین مقاومت اهمی یک المان بشقابی..... ۵۲

۴-۲ بخش دوم..... ۵۲

فصل پنجم شرح و نتیجه‌ی برنامه‌ی تدوین شده..... ۵۳

نتایج نمونه‌ی اجرا شده..... ۵۷

فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۶۱

مراجع..... ۶۴

چکیده:

برخورد صاعقه¹ به سیم پیچ های فشارقوی یا عمل کلیدزنی² در ترانسفورماتورهای قدرت سبب ایجاد تنش اضافی به واسطه شکل ضربه ای موج صاعقه یا کلیدزنی روی سیم پیچی این ترانسفورماتورها می شود. محاسبه ی این تنش اضافی بر روی سیم پیچ ها به داشتن پارامترهای مداری سیم پیچ ها در

ترانسفورماتور وابسته است. این پارامترها شامل ظرفیت های الکتریکی سری و موازی، اندوکتانس های خودی و متقابل و مقاومت های اهمی و عایقی است.

در طراحی ترانسفورماتور، طراح سعی می نماید با تعیین مقادیر مناسب برای این پارامترها با تغییر متغیرهای طراحی، تنش متناسبی را در قسمت های مختلف سیم پیچ ایجاد و آنرا مهار نماید. برای رسیدن

به این هدف لازم است پارامترهای مداری سیم پیچ که پارامترهای مدل مشروح³ نامیده می شوند، محاسبه شوند.

در این پروژه نرم افزاری تدوین شده است که این پارامترها را برای انواع سیم پیچ های لایه ای⁴، بشقابی ساده⁵ و بشقابی درهم⁶ محاسبه کند. برای ارزیابی صحت عملکرد این نرم افزار نیز در انتها پارامترهای

مدل مشروح یک نمونه محاسبه و آورده شده است.

1.Lightening

4.Layer winding

2.Switching

5.Simple disk winding

3.Detailed model

6. Interleaved disk winding

فصل اول

ضرورتی بر اهمیت تحلیل

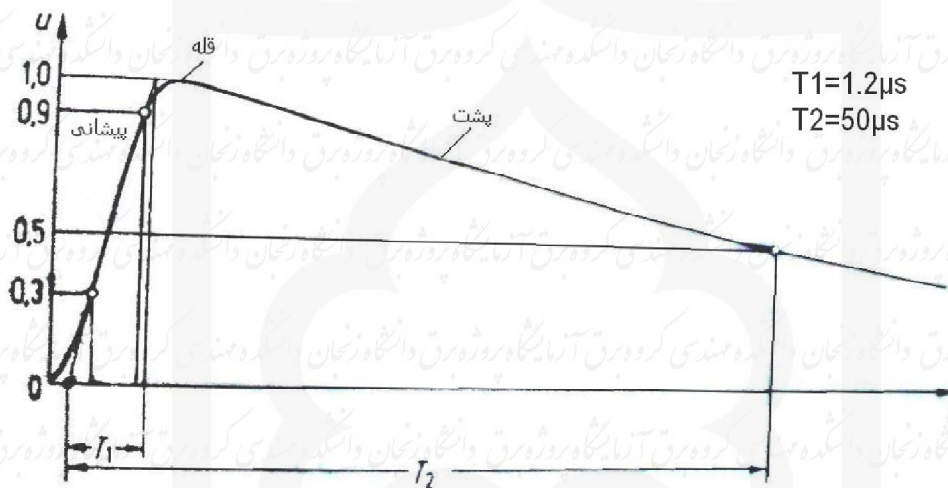
مدل مشروح ترانسفورماتور

ترانسفورماتورها یکی از ادوات بسیار مهم و گرانقیمت مورد استفاده در شبکه های برق و از مهمترین اجزای یک شبکه ی قدرت می باشند. ترانسفورماتورها در حین کار با انواع مختلفی از تنش های ولتاژ بالا

روبرو می شوند که از برخورد صاعقه، عملیات کلیدزنی و یا اغتشاشات سیستم ناشی می شوند. یک ترانسفورماتور باید به گونه ای طراحی شود که در برابر این اضافه ولتاژها ایستادگی کند و به همین منظور پس از ساخت، برای بررسی میزان استقامتش تحت تست های عایقی از جمله تست ضربه قرار می گیرد.

هنگامی که صاعقه به ترانسفورماتور برخورد می کند یک توزیع ولتاژ با دامنه بالا روی شبکه ی آن خواهد بود. این توزیع ولتاژ به علت ماهیت شکل موج صاعقه که در شکل ۱-۱ نمایش داده شده است،

جزو حالت های گذرای است که بر روی سیم پیچ های ترانسفورماتور دیده می شود. [1]



شکل ۱-۱. شکل موج ضربه صاعقه

ولتاژ ضربه و نحوه توزیع آن در داخل سیم پیچ های ترانسفورماتور یکی از مباحث مهم جهت تحلیل حالت گذرای این تجهیز می باشد. ولتاژهایی که در داخل سیم پیچی در خلال اعمال ولتاژ ضربه ایجاد می شوند نوسانی بوده و محاسبه آن ساده نیست. اطلاع از نحوه توزیع ولتاژهای گذرا در سیم پیچی ترانسفورماتور برای ارزیابی ساختار عایقی امری حیاتی است و لذا مطالعه ی حالت گذرای ترانسفورماتورها دارای اهمیت فراوانی است.

بدین منظور هادی های پیچیده شده در سیم پیچ ها را با استفاده از سه المان اصلی یعنی خازن (C)، سلف (L,M) و مقاومت (R) مدل کرده و با شبکه ای موسوم به شبکه ی RLCM یا همان مدار مدل مشروح

ترانسفورماتور، آن ها را نمایش داده و تحلیل می نمایند.

در این پروژه، محاسبه‌ی پارامترهای مدل مشروح برای ترانسفورماتورهای روغنی مورد بررسی قرار گرفته و برای این منظور از مدل مشروح بر مبنای روش تحلیلی¹ استفاده شده است و نرم افزاری تدوین شده است تا به وسیله‌ی آن پارامترهای مدل مشروح محاسبه گردد.

فصل دوم به معرفی چند روش مختلف برای تعیین پارامترهای مدل مشروح و مزایا و معایب آن‌ها می‌پردازد.

فصل سوم ابتدا مدار معادل مدل مشروح ترانسفورماتور را نمایش داده و سپس به تعیین پارامترهای آن بر اساس روش‌های تحلیلی می‌پردازد و روابط کلی و پایه‌ای محاسبات RLCM بدست می‌آورد.

فصل چهارم روابط کلی بدست آمده در فصل پیش را برای انواع بوبین‌ها همراه با ریزجزییات آن‌ها آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و فرمول‌های دقیق و نهایی را بسته به ساختار درونی المان‌ها بدست می‌دهد.

فصل پنجم اجزای برنامه نویسی را توضیح داده و نتایج یک نمونه‌ی اجرا شده با آن را نشان می‌دهد.

فصل ششم نیز شامل قسمت‌های نتیجه‌گیری، پیشنهادات و مراجع است.

1. Analytical method

فصل دوم

معرفی روش های مختلف برای شناسایی

پارامترهای مدل مشروح RLCM

مدل های مختلفی برای تجزیه و تحلیل و شبیه سازی رفتار یک ترانسفورماتور در شرایط کاری مختلف از جمله شرایط خطا، اضافه ولتاژهای سویچینگ، ضربه و ... ارائه شده اند که به طور کلی می توان به دو

دسته تقسیم کرد:

۱- مدل ترمینالی ترانسفورماتور¹

۲- مدل مشروح ترانسفورماتور²

۱-۲ مدل ترمینالی

مدل ترمینالی یکی از دو دیدگاه راجع به بحث مدل کردن ترانسفورماتور می باشد، که در آن

ترانسفورماتور به صورت مداری مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد، این مدل زمانی که یک خط انتقال

به یک ترانسفورماتور منتهی می شود مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین در هنگام بروز خطا در شبکه از

این مدل استفاده می شود. [2]

۲-۲ مدل داخلی (مشروح)

مدل مشروح مدلی است که طراحان ترانسفورماتور همگی با آن آشنا هستند، در واقع یک طراح به مدلی

نیاز دارد که گویای نحوه عملکرد ترانسفورماتور در هنگام بهره برداری و یا برخورد امواج ضربه و

سویچینگ به سیم پیچ های آن باشد. مدل مشروح ترانسفورماتور شامل تمام اجزای درونی ترانسفورماتور،

سیم پیچ ها، هسته و هم سیستم خنک کنندگی و کلاً اجزا ترانسفورماتور خواهد بود، در مراجع بیشتر مدل

مشروح از دید سیم پیچی، هسته، سیستم عایقی و خنک کنندگی مورد بحث قرار می گیرد. همچنین مدل

مشروح را جهت بررسی تنش های موجود برای ترانسفورماتور می توان بکار برد.

1.Terminal Model(black box)

2.Internal Model(grey box)

با توجه به این که مدل های مشروح ترانسفورماتورها با استفاده از هندسه و ساختار داخلی ترانسفورماتور ها شامل ساختمان سیم پیچ ها و اتصالات و نیز مواد عایقی بکار رفته لحاظ می شوند، برای مطالعه ی پدیده های داخلی ترانسفورماتور در شرایط کار مختلف بسیار مناسب هستند. برای اینکه مدل مشروح بتواند رفتار ترانسفورماتور را در یک بازه ی فرکانس به خوبی شبیه سازی کند لازم است پارامترهای آن با دقت بسیار خوبی محاسبه شوند. تا کنون چند روش برای محاسبه ی پارامترهای مدل مشروح ترانسفورماتور بحث شده اند که هر کدام دارای مزایا و معایبی هستند. در اینجا به سه مورد از آن ها اشاره می کنیم:

۱-۲-۲ مدل مشروح بر مبنای روش المان محدود¹:

روش المان محدود به عنوان یک روش دقیق و معتبر، کاربردهای بسیاری در شبیه سازی رفتار ترانسفورماتورها در شرایط مختلف دارد. از جمله این کاربردها می توان به محاسبه شارهای ناشی و نیروهای الکترومغناطیسی اشاره نمود و همچنین با استفاده از این روش پارامترهای مدار معادل سیم پیچ با در نظر گرفتن جزئیات ساختاری ترانسفورماتور قابل محاسبه است.

این روش به محاسبه ی پارامترهای مدل مشروح با تعداد عناصر زیاد می پردازد و مبتنی بر حل معادلات با استفاده از مش بندی شبکه ی شامل المان های² کوچک است که در آن جهت تخمین پارامترهای مدل از شکل هندسی ساختمان ترانسفورماتور و یکسری روابط ریاضی استفاده می شود. و در نهایت با در دست داشتن جریان و ولتاژ گره ها و نوشتن روابط KCL و KVL به محاسبه ی پارامترها می پردازد. [4] و

[3]

مراحل مدل سازی و محاسبه حالت گذرای ترانسفورماتور با روش المان محدود به صورت زیر است:

1- تقسیم سیم پیچ به تعدادی از بخش ها و مدل کردن در نرم افزار المان محدود

1. Finite element method

2. Element

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادات

نتیجه گیری:

مقایسه ی شکل موج های ترسیم شده با پارامترهای مدل مشروح محاسبه شده در این پروژه با نتایج نرم افزار موجود نشان می دهد که روش تحلیلی بکار برده در این پروژه از دقت مناسبی برخوردار است و

نتایج قابل قبولی را بدست می دهد.

پیشنهادات:

در طول تدوین این برنامه با نرم افزار MATLAB به علت حجیم بودن برنامه، اجرای آن از سرعت نسبتاً پایینی برخوردار بود که گاهی گرفتن فایل خروجی را کمی طاقت فرسا می کرد. به همین سبب بهتر است بعضی از خروجی ها که در محاسبه ی حالت گذرای ترانسفورماتور بی تاثیرند یا تاثیر چندانی ندارند حذف شوند، که از جمله ی آنها می توان به مقاومت های عایقی یا پارامترهای مربوط به تانک ترانسفورماتور اشاره کرد. البته شایان ذکر است که سرعت اجرای خود نرم افزار MATLAB نیز تا حدی پایین است.

همچنین بهتر است اثرات بعضی از عوامل دیگر از جمله شیلد گرافیکی، تعداد سیم های درهم و راست

گردی و چپ گردی بوبین نیز در نظر گرفته شود.

مراجع:

- [1] حسین محسنی، مبانی مهندسی فشارقوی الکتریکی، انتشارات دانشگاه تهران، مهر ۱۳۷۷.
- [2] Allen Greenwood "Electrical Transient in power system", JOHN WILEY, 1991.
- [3] Bjerkan.E, Hoidalén.H.K, " High Frequency FEM-Based Power Transformer Modeling: Investigation of Internal Stresses due to Network-Initiated Overvoltages ," International Conference on Power Systems Transients (IPST'05) in Montreal, Canada on June 19-23, 2005, Paper NO.IPST05-106.
- [4] Z. Azzouz, A. Foggia, L. Pierrat and G. Meunier, "3D finite element computation of the high frequency parameters of power transformer windings," IEEE Trans. Magnetics, vol. 29, no. 2, pp. 1407 – 1410, Mar. 1993.
- [5] Buckow, E. (1986). Berechnung des Verhaltens von Leistungstransformatoren bei Resonanzanregung und Möglichkeiten des Abbaus innerer Spannungsüberhöhungen, Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt.
- [6] Nothaft, M. (1994). Untersuchung der Resonanzvorgänge in Wicklungen von Hochspannungsleistungstransformatoren mittels eines detaillierten Modells, Dissertation, Technische Hochschule Karlsruhe.
- [7] Ebrahim Rahimpour, Jochen Christian, Kurt Feser, and Hossein Mohseni, "Transfer Function Method to Diagnose Axial Displacement and Radial Deformation of Transformer Windings," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 18, no. 2, pp. 493–505, April. 2003.

[8] استغفان جی. چاپمن (جواد فیض)، اصول ماشین های الکتریکی، انتشارات دانشگاه تبریز، ۱۳۷۴.

[9] C. Ambrozie, „Teilkapazitäten und grundlegende Kapazitäten in Scheibenspulentransformatorwicklungen”, E&M, Bd.89, Jahrgang 1972, Heft 9, S. 370-377.

[10] دیوید ک. چنگ (پرویز جبه دار مارالانی)، الکترومغناطیس میدان و موج، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۱۳۷۵.

[11] حسین محسنی، مهندسی فشار قوی الکتریکی پیشرفته، انتشارات دانشگاه تهران، فروردین ۱۳۷۳.

[12] علی مطلبی، ترانسفورماتور یک فازه و سه فازه، چاپ دوم، انتشارات افروز، ۱۳۷۵.

پایان نامه کارشناسی

