دانشکده مهندسی
گروه برق
پایان نامه کارشناسی
گرایش : قدرت

عنوان :

محاسبه توزیع جریان در سیم پیچ های موازی ترانسفورماتورهای جریان بالا

استاد راهنما :

دکتر سیّد هادی حسینی

نگارش :

محمّد مقصودی

تاریخ دفاعیه : شهریور ۱۳۸۸

« فهرست مطالب»

عنوان :	صفحه :
فصل اول : کلیات	**۱**
۱ . ۱) پیشگفتار	**۲**
۱ . ۲) ترانسفورماتور به عنوان یک مدار تزویج مغناطیسی	**۵**
۱ . ۳) شمای کلی و اهمیت موضوع و ضرورت طرح	**۹**
فصل دوم : ترانسفورماتورهای جریان بالا	**۱۱**
۲ . ۱) ترانسفورماتورهای جریان بالای آزمایشگاهی	**۱۳**
۲ . ۲) ترانسفورماتورهای یکسو کننده	**۱٤**
۲ . ۳) ترانسفورماتورهای کوره قوس الکتریکی	**۱۵**
۲ . ۳ . ۱) ترانسفورماتورهای کوره قوس الکتریکی جریان متناوب	**۱۵**
۲ . ۳ . ۲) ترانسفورماتورهای کوره قوس الکتریکی جریان مستقیم	**۱۸**
فصل سوم : محاسبهٔ اندوکتانس با استفاده از نرم افزارهای مبتنی بر روش المان محدود (FEM)	**۲۱**
۳ . ۱) روش المان محدود (FEM)	**۲۲**
۳ . ۲) نرم افزار FEMM	**۲۳**

۳ . ۳) محاسبه اندوکتانس های خودی و متقابل بین سیم پیچ های موازی ۲٤

فصل چهارم : محاسبهٔ جریان در سیم پیچ های موازی ۳۹

۴ . ۱) روش تحلیل مش در محاسبه توزیع جریان ها ٤۰

۴ . ۲) محاسبه توزیع جریان ها برای ترانسفورماتور مورد بررسی در حالت بهره برداری اول ٤۲

۴ . ۳) محاسبه توزیع جریان ها برای ترانسفورماتور مورد بررسی در در حالت بهره برداری دوم ٤٥

۴ . ۴) محاسبه توزیع جریان ها برای ترانسفورماتور مورد بررسی در در حالت بهره برداری سوم ٤۷

جمع بندی و نتیجه گیری ٥۱

ضمیمه ٥۲

منابع و مراجع ٥٤

فصل اول

کلیّات

۱. ۱) پیشگفتار

ترانسفورماتور [1] دستگاه و یا ماشینی است که انرژی الکتریکی را از یک مدار الکتریکی به مدار الکتریکی دیگر انتقال می دهد. این انتقال انرژی از طریق میدان های مغناطیسی و بدون تغییر فرکانس صورت می گیرد. مدار الکتریکی که انرژی را از منبع اصلی دریافت می کند سیم پیچی اولیه و مدار دیگر که وظیفه اش تحویل انرژی به بار است سیم پیچی ثانویه نامیده می شود. در واقع ترانسفورماتور وسیله تبدیل انرژی الکترومغناطیسی است به طوری که انرژی دریافت شده توسط سیم پیچ اولیه ابتدا تبدیل به انرژی مغناطیسی می شود و سپس مجدداً تبدیل به انرژی الکتریکی مورد لزوم در مدارهای دیگر می شود.

از آنجایی که انتقال انرژی الکتریکی و تبدیل سطح ولتاژ در حالی در ترانسفورماتورها صورت می گیرد که از هیچ قسمت متحرکی در ساختمان آنها استفاده نشده لذا بالاترین بازده را نسبت به تمامی ماشین های الکتریکی دارند.

ترانسفورماتورها استفاده های زیادی در سیستم های قدرت دارند و نقش اصلی را در انتقال انرژی الکتریکی ایفا می کنند. به طوری که در سیستم های انتقال وجود ترانسفورماتورها دلیل برتری سیستم های ac به سیستم های dc است.

البته علاوه بر استفاده ترانسفورماتورها در سیستم های قدرت از آنها استفاده های زیادی در دیگر شاخه های مهندسی برق مثل مخابرات و الکترونیک هم می شود.

اگرچه ساختمان کلی و طرز کار همهٔ انواع ترانسفورماتورها شبیه هم است اما ترانسفورماتورها کاربردهای متفاوتی می توانند داشته باشند به همین دلیل از لحاظ کاربرد ترانسفورماتورهای

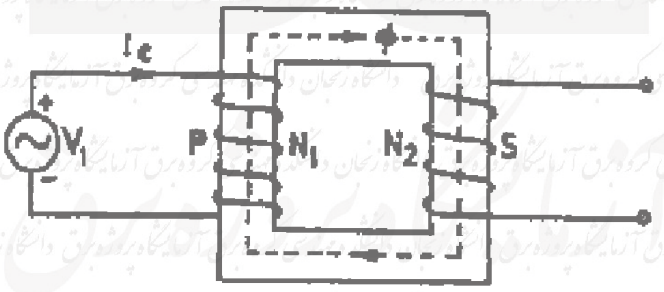
[1] . transformer

مختلفی مانند ترانسفورماتورهای نیروگاهی، ترانسفورماتورهای قدرت، ترانسفورماتورهای توزیع، ترانسفورماتورهای اندازه گیری ولتاژ و جریان، ترانسفورماتورهای جریان بالا و ... در صنعت استفاده می شوند.

در ساختمان یک ترانسفورماتور اجزای مختلفی وجود دارد که اصلی ترین آنها هسته مغناطیسی (محل عبور شار مغناطیسی)، سیم پیچی های اولیه و ثانویه ، بدنهٔ ترانسفورماتور، مخزن روغن (البته در ترانس های روغنی) و ... را می توان نام برد. نحوهٔ طراحی هر یک از این اجزا است که باعث می شود یک ترانسفورماتور کاربرد خاصی داشته باشد.

البته طراحی قسمت های مختلف، نوع و شکل مواد به کار رفته، نحوهٔ عایق کاری و سایر کارهایی که برای ساخت یک ترانسفورماتور انجام می گیرند ساده نبوده و احتیاج به تکنولوژی بالایی دارند به همین دلیل صنعت طراحی و ساخت ترانسفورماتورها یکی از صنایع پیشرفته در جهان محسوب می شود.

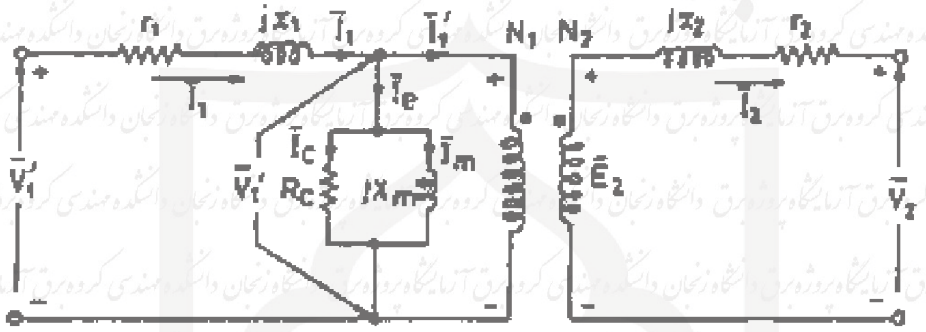
اصول کار یک ترانسفورماتور براساس القای الکترومغناطیسی بین دو یا چند مدار تزویج شده استوار است. طبق این قانون، اگر سیم پیچی شار متغیری را دربر بگیرد، در دو سر آن یک نیروی محرکهٔ الکتریکی (emf) القاء می شود. طرح وارهٔ کلی یک ترانسفورماتور در شکل ۱ . ۱نمایش داده شده است.



شکل ۱ . ۱) طرح یک ترانسفورماتور دو سیم پیچه

سیم پیچ اولیهٔ P که دارای N_1 دور است به یک منبع ولتاژ متناوب وصل می شود و باعث برقراری جریان متناوب I_e در مدار اولیه می شود. در نتیجه نیروی محرکهٔ مغناطیسی (mmf) متناوب N_1I_e باعث برقراری شار متناوب Φ در مسیر بستهٔ هسته می شود. این شار متغیر Φ تولید ولتاژ E_1 در اولیه P و E_2 در ثانویه S می کند که اگر بار به سرهای ثانویه وصل شود، باعث برقراری جریان بار در ثانویه می شود.

در بررسی های مهندسی یک ترانسفورماتور و برای نمایش مداری آن از مدارهای معادل ترانسفورماتور استفاده می کنند. شکل زیر مدار معادل دقیق یک ترانسفورماتور را نشان می دهد.



شکل ۱ . ۲) مدار معادل دقیق یک ترانسفورماتور

که در آن R_2و R_1 مقاومت سیم پیچ های اولیه و ثانویه، X_1 وX_2 راکتانسی برای درنظر گرفتن شارهای نشتی در اولیه و ثانویه، X_m برای درنظر گرفتن جریان مغناطیس کنندگی و R_c برای در نظرگرفتن تلفات هسته می باشند که در دو طرف یک ترانسفورماتور ایده آل[۱] قرار گرفته اند و معمولاً برای تحلیل به اولیه یا ثانویه ارجاع می شوند.

---

[۱] . ترانسفورماتور ایده آل یک ترانسفورماتور فرضی است که در آن از مقاومت و شار نشتی در سیم پیچ ها و نیز از تلفات هسته صرف نظر شده و هسته دارای ضریب نفوذپذیری مغناطیسی ثابت فرض می شود و رابطهٔ

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = -\frac{I_2}{I_1}$$

دقیقاً در مورد آن صادق است.

۲ . ۱) ترانسفورماتور به عنوان یک مدار تزویج مغناطیسی

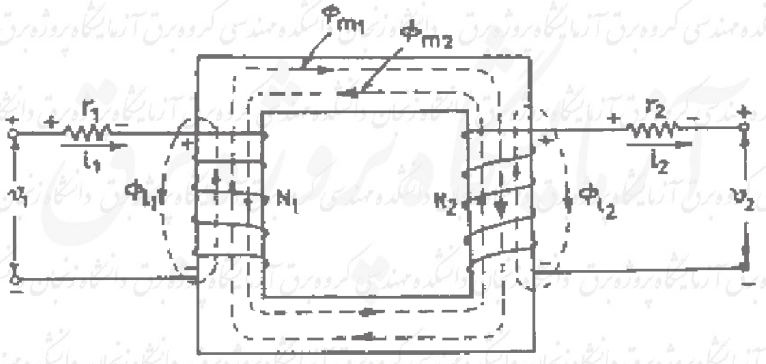
در این قسمت یک ترانسفورماتور دو سیم پیچه ساده درنظر گرفته شده و به عنوان یک مدار تزویج متقابل مورد بحث قرار می گیرد که در آن، روابط ولتاژ و جریان بر حسب مقاومت ها و اندوکتانس ها، بیان می شوند. ضمناً از اشباع مغناطیسی هسته صرف نظر شده بدین معنی که هسته دارای نفوذ پذیری مغناطیسی ثابت است.

در شکل ۱ . ۳ این ترانسفورماتور نشان داده شده است به طوری که در آن، r_1 و r_2 به ترتیب مقاومت های اولیه و ثانویه می باشند. ولتاژهای اعمالی v_1 ، تولید جریان i_1در اولیه می کند.

هنگامی که تنها جریان i_1 جاری است، شارکل Φ_1 تولید می شود. این شار تمامی حلقه های سیم پیچ اولیه را دربر می گیرد و از دو مؤلفه شار Φ_{l1}و Φ_{m1} تشکیل شده است.

یعنی $\Phi_1 = \Phi_{m1} + \Phi_{l1}$. Φ_{m1} تنها به وسیلهٔ i_1 ایجاد می شود و چون هر دو سیم پیچی اولیه و ثانویه را دربر می گیرد شار متقابل نامیده می شود. Φ_{l1} تنها سیم پیچی اولیه را دربر می گیرد و شار نشتی اولیه نامیده می شود. شار متقابل Φ_{m1} با زمان تغییر کرده و در سر سیم پیچی ثانویه ولتاژ القاء می کند که با وصل شدن بار به دو سر سیم پیچی ثانویه جریان i_2 جاری می شود. جریان i_2 دو سیم پیچی N_2 بر طبق قانون لنز شار متقابل Φ_2 را در خلاف جهت Φ_{m1} تولید می کند که در آن $\Phi_2 = \Phi_{m2} + \Phi_{l2}$.

مانند سیم پیچی اولیه Φ_{m2} شار متقابل و Φ_{l2} شار نشتی سیم پیچی ثانویه نامیده می شود.



شکل ۱ . ۳) شارهای متقابل و نشتی در یک ترانسفورماتور دو سیم پیچه

وقتی که جریان i_1 و جریان ثانویه i_2، همزمان با هم وجود داشته باشند، هم Φ_{m1} و هم Φ_{m2} در هسته مغناطسی تولید می شوند و شار متقابل منتجه Φ که هر دو سیم پیچی اولیه و ثانویه را دربر خواهد گرفت، به صورت $\Phi_{m1} - \Phi_{m2}$ ، خواهد بود. لذا شار کلی که سیم پیچی اولیه را در بر گرفته (ψ_1) برابر مجموع منتجه شار متقابلی که اولیه را دربر گرفته و شار نشتی سیم پیچی اولیه است.

$$\psi_1 = N_1 \Phi + N_1 \Phi_{l1} \qquad (۱-۱)$$

$$\psi_1 = N_1 (\Phi_{m1} - \Phi_{m2}) + N_1 \Phi_{l1} \qquad (۲-۱)$$

$$\psi_1 = N_1 (\Phi_{m1} + \Phi_{l1}) - N_1 \Phi_{m2} \qquad (۳-۱)$$

$$\psi_1 = N_1 \Phi_1 - N_1 \Phi_{m2} \qquad (٤-۱)$$

اکنون با اعمال قانون ولتاژکیرشهف و قانون القای فارادی معادلهٔ ولتاژ برای اولیه ترانسفورماتور به صورت زیربه دست می آید :

$$v_1 = r_1 i_1 + \frac{d\psi_1}{dt} \qquad (٥-۱)$$

و با جاگذاری ψ_1 خواهیم داشت :

$$v_1 = r_1 i_1 + \frac{d}{dt}(N_1 \Phi_1 - N_1 \Phi_{m2}) \qquad (٦-۱)$$

همان گونه که می دانیم اندوکتانس خودی یک سیم پیچی، به صورت نسبت کل شار دربرگیرنده سیم پیچی بر جریان در همان سیم پیچ تعریف می شود. لذا اندوکتانس خودی سیم پیچ اولیه به صورت زیر خواهد بود :

$$L_1 = \frac{N_1 \phi_1}{i_1} \qquad (۷-۱)$$

یا

$$N_1 \Phi_1 = L_1 i_1$$

همچنین اندوکتانس متقابل، به صورت نسبت شار در برگیرنده یک سیم پیچ، بر جریان در سیم پیچ دیگری که با آن سیم پیچ دارای تزویج متقابل می باشد، تعریف می شود. لذا اندوکتانس متقابل سیم پیچ اولیه و ثانویه عبارتست از :

$$M_{12} = \frac{N_1 \phi_{m2}}{i_2} \qquad (۸-۱)$$

که در این جا $N_1 \phi_{m2}$، شار در بر گیرندهٔ سیم پیچ اولیه ناشی از جریان i_2 در سیم پیچی ثانویه می باشد و به طور مشابه :

$$M_{21} = \frac{N_2 \phi_{m1}}{i_1} \qquad (۹-۱)$$

همان طور که می دانیم در مدارهای تزویج متقابل، رابطهٔ $M_{12} = M_{21} = M$ برقرار است. لذا:

$$N_1 \phi_{m2} = M\, i_2 \quad , N_2 \phi_{m1} = M\, i_1$$

حال با جایگذاری مقادیر $N_1 \phi_{m2}$ و $N_1 \phi_1$ در رابطهٔ ۱-۶ خواهیم داشت :

$$v_1 = r_1 i_1 + \frac{d}{dt} (L_1 i_1 - M i_2)$$

$$v_1 = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \qquad (۱۰-۱)$$

به همین صورت در مورد سیم پیچی ثانویه می توان گفت که شار دربر گیرنده سیم پیچی ثانویه (ψ_2) برابر مجموع کل شار دربر گیرندهٔ سیم پیچ ثانویه و شار نشتی دربر گیرندهٔ سیم پیچ ثانویه می باشد.

$$\psi_2 = N_2 \phi + N_2 (-\phi_{l2}) \qquad (۱۱-۱)$$

$$\psi_2 = N_2 (\phi_{m1} - \phi_{m2}) - N_2 \phi_{l2} \qquad (۱۲-۱)$$

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

جمع بندی و نتیجه گیری

در ترانسفورماتورهای جریان بالا با توجه به محدودیت های تکنولوژی و مواد باید چند سیم پیچ با یکدیگر موازی شوند. توزیع یکسان جریان در این سیم پیچ ها یکی از بخش های مهم طراحی و ساخت این نوع از ترانسفورماتورها می باشد. توزیع ناهمگون شار پراکندگی به همراه ترکیب نامتقارن ترانسفورماتور باعث پیچیدگی انجام این عمل می شود. برای محاسبهٔ توزیع جریان در سیم پیچ ها ترانسفورماتور به عنوان یک مدار تزویج مغناطیسی درنظر گرفته شد. در قسمت بعد با توجه به توزیع شار پراکندگی اندوکتانس های خودی و متقابل بین سیم پیچ های موازی با دقت بالا با استفاده از نرم افزار FEMM که یک نرم افزار مبتنی بر روش المان محدود است محاسبه شد.

در انتها نیز با استفاده از اندوکتانس های به دست آمده و روش های تجزیه و تحلیل مداری مانند روش تجزیه و تحلیل مش مقدار اندازه و فاز جریان را در تمام سیم پیچ های موازی محاسبه گردید.

همانطور که برای یک ترانسفورماتور نمونه و در سه حالت بهره برداری مختلف ملاحظه شد توزیع یکسان جریان در این سیم پیچ ها ملاحظه نمی شودوحتی در برخی سیم پیچ ها اختلاف جریان نسبت به سایر سیم پیچ هاخیلی زیاد می شود که اصلاً مطلوب طراحان این نوع ترانسفورماتورها نمی باشد. سازندگان معمولاً با تغییر ارتفاع سیم پیچ ها نسبت به یکدیگر و یا تغییر فاصله بین سیم پیچ ها و تدابیر دیگر سعی در رفع این مشکل اساسی می کنند. به هر حال در طراحی ترانسفورماتورهای جریان بالا باید به توزیع جریان ها در سیم پیچ های موازی دقت فراوان شده و برای همگون کردن و یکسان کردن توزیع جریان در سیم پیچ ها تلاش شود.

منابع و مراجع

[۱]

پروفسور بیم بهارا، (ترجمه دکتر لسانی و دکتر سلطانی)، ماشین های الکتریکی، چاپ چهارم، انتشارات قائم، ۱۳۸۵.

[2] .YAMADA Yataka et all. Current Distribution in Multi – Laminated HTS 18 th International Conterence on Mugnet Technology 20 – 24 october – 2003 Morioka Japan.

[۳]

حسین محسنی، مهدی میرزایی، مهرداد حمله بر، "طراحی و ساخت ترانسفورماتورهای جریان بالا"، بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق، ۱۳۸۵

[4] .Furnace and Rectifier Transformers for the Metal Industry , by chris odendaul and Ben Visser of ABB Powortech Transformers.

[5]. David Meeker, "Finite Element Method Magnetics", Version 4.2, User's Manual May 15, 2008.

[۶]

ارنست کوه – چارلز دسور،(ترجمه دکتر جبه دار مارالانی)، نظریه اساسی مدارها و شبکه ها،چاپ یازدهم،انتشارات دانشگاه تهران،۱۳۸۴.

[7] . Robert M.Del Vecchio, Bertrand Poulin, Pierre T.Feghali, Dilipkumar M.Shah, Rajendra Ahuja. "Transformer Design Principles" CRC Press, 2002.