

عملکرد غلط رله های دیفرانسیل ناشی از جریان هجومی در ترانسفورماتورها

سیدعباس طاهر^۱، حمید رضا بقایی^۲، علی پریزاد^۲، حسین کرمی طاهری^۲

دانشگاه کاشان _ دانشکده مهندسی _ گروه مهندسی برق

Email: SATaher@kashanu.ac.ir

چکیده: جریان هجومی به دلیل به اشباع رفتن هسته در زمان برق دار کردن ترانسفورماتور بوجود می آید. ویژگی اصلی این جریان داشتن مولفه DC بزرگ، داشتن هارمونیک های زیاد و اندازه بزرگ می باشد. این جریان تنها در طرف اولیه به وجود می آید. در صورتی که مداری که اتصال کوتاه در ترانسفورماتور را تشخیص می دهد جریان هجومی را در نظر نگیرد همواره بلافاصله بعد از برق دار کردن ترانسفورماتور رله دیفرانسیل عمل کرده و باعث خارج شدن ترانسفورماتور از مدار می شود. در این مقاله روشی برای حذف اثر جریان هجومی در عملکرد غلط رله دیفرانسیل ارائه می گردد.

کلمات کلیدی: جریان هجومی، حفاظت دیفرانسیل جریان، هارمونیک دوم جریان

۱- مقدمه: جریان هجومی در ترانسفورماتور ها در اصل از اشباع زیاد هسته آهنی در زمان سوئیچینگ ترانسفورماتور، سرچشمه می گیرد. این جریان دارای اندازه زیاد و مولفه DC بزرگ است. همچنین حاوی هارمونیک های زیاد در زمانی که هسته به اشباع می رود، می باشد. جریان مذکور در مدت زمان برق دار کردن ترانس ایجاد می شود و تاثیرات نامطلوبی بر روی آن دارد [1]. در بخش ۲ عامل ایجاد جریان هجومی و لتازی که به اولیه اعمال می شود معرفی شده است. این ولتاژ، در بدترین حالت، شار را ملزم می کند تا به ماکزیمم مقدار تئوری، یعنی دو برابر شار حالت دائمی به علاوه شار پسماند افزایش یابد. لذا ترانسفورماتور به شدت اشباع شده و حجم زیادی از جریان را ایجاد می کنند [2]. از آنجا که جریان در یک مدت کوتاه ایجاد می شود، تاثیر های مخربی روی ترانس ندارد، اما به هر حال، وسایل حفاظتی برای اضافه بار ممکن است عملکرد غلطی داشته باشند و ترانسفورماتور را قطع کنند. در بخش ۳ از این مقاله خواهیم دید که یکی از وسایل حفاظتی، رله حفاظت دیفرانسیل جریان می باشد که از جریان های اولیه و ثانویه نمونه برداری کرده و آن ها را در یک رنج قرار می دهد. سپس تفاضل این جریان به یک رله اعمال می شود. دامنه هارمونیک جریان هجومی نسبت به جریان های دیگر بزرگ می باشد. در بخش ۴ می بینیم که چگونه می توان از این ویژگی استفاده کرده و از عملکرد غلط ترانسفورماتور تحت تاثیر جریان هجومی در طرف اولیه جلوگیری کرد [3].

۲- مدل سازی ریاضی جریان هجومی :

در حالت ایده آل و بدون در نظر گرفتن اثر مقاومت سیم پیچ ها، جریان هجومی به وسیله قانون فاراده چنین توصیف می شود:

$$v(t) = \frac{d\lambda(t)}{dt} \quad (۱)$$

که در آن $v(t)$ و $\lambda(t)$ به ترتیب ولتاژ لحظه ای اعمال شده به ترانسفورماتور و شار دور لحظه ای سیم پیچی است. چون ولتاژ نیروی محرکه است، شار طبق رابطه زیر ایجاد می گردد:

$$\lambda(t) = \int_0^t v(\tau).d\tau \quad (۲)$$

چنانچه از شار پراکندگی صرف نظر شود :

$$\lambda(t) = N\phi(t) \quad (۳)$$

که در آن $\phi(t)$ شار لحظه ای موجود در هسته و N تعداد دور سیم پیچی است. از ترکیب روابط (۲) و (۳) داریم:

$$\phi(t) = \frac{1}{N} \int_0^t v(\tau).d\tau \quad (۴)$$

اگر ولتاژ را سینوسی در نظر بگیریم:

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta) \quad (۵)$$

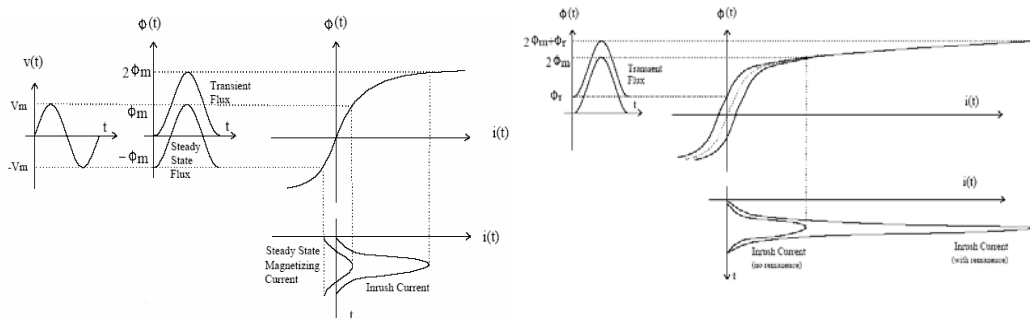
لذا رابطه (۴) تبدیل می شود به:

$$\phi(t) = \frac{V_m}{N\omega} [\cos \theta - \cos(\omega t + \theta)] + \phi(0) \quad (۶)$$

با فرض آنکه که شار در لحظه $t = 0$ ، $\phi(0) = \Phi$ ، ماکزیمم شاری که در هسته ایجاد می شود زمانی است که زاویه $\theta = 0$ باشد. در این شرایط ماکزیمم شار چنین است:

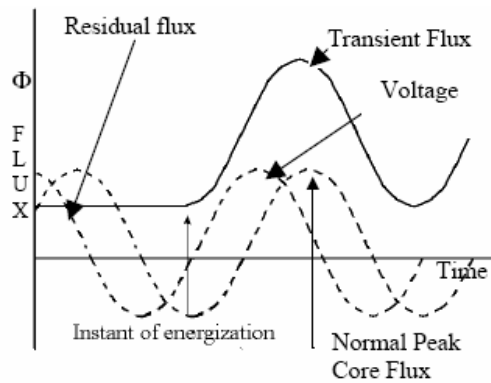
$$\Phi_{\max} = \frac{2V_m}{N\omega} + \Phi_r = 2\Phi_m + \Phi_r \quad (۷)$$

که در آن Φ_r شار پسماند مغناطیسی است که متأثر از منحنی مشخصه مواد بکار رفته در هسته ترانس، فاکتور شکاف هوایی هسته، ظرفیت خازنی سیم پیچی، منحنی های مشخصه برش جریان مدار شکن و دیگر خازن های متصل به ترانسفورماتور است. شکل های ۱ تا ۴ شرح گرافیکی این پدیده را نشان می دهد:

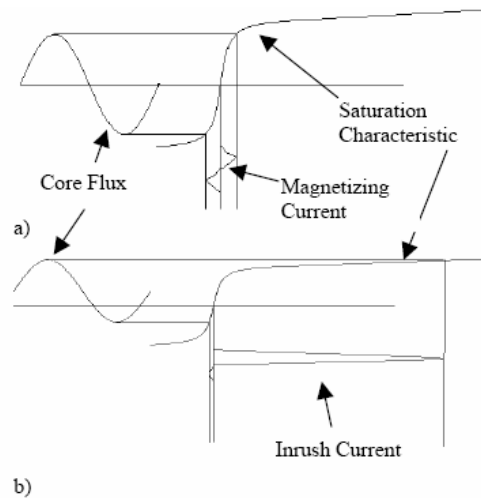


شکل ۱ توصیف گرافیکی جریان هجومی

شکل ۲ توصیف گرافیکی جریان هجومی با در نظر گرفتن شار پسماند



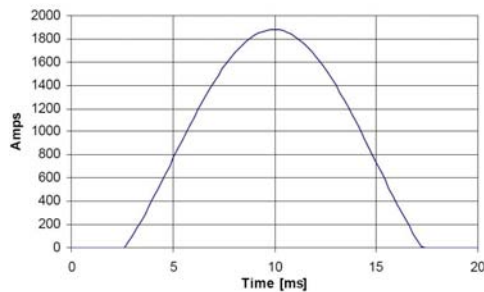
شکل ۴ منحنی اشباع هسته ترانس (الف) برای شار متقارن (ب) برای شار نامتقارن



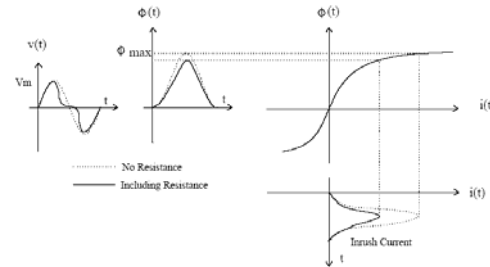
شکل ۳ نمایش بدترین حالت برای برق دار کردن ترانسفورماتور با یک شار پسماند مشخص

در صورتی که از مقاومت اهمی سیم پیچ ها صرف نظر نشود، همه ولتاژ سبب افزایش شار در هسته نمی شود. بخشی از ولتاژ در مقاومت اهمی سیم پیچی اولیه افت می یابد و لذا یک افت در شار ماکزیمم خواهیم داشت. همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، میزان جریان تا حد زیادی کاهش یافته است.

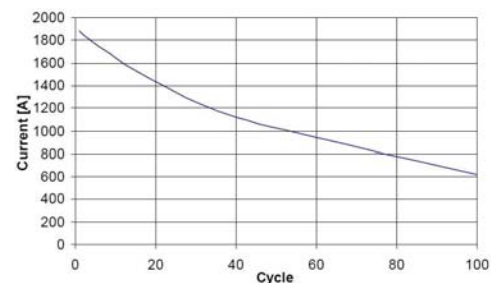
به نظر می رسد که این جریان هجومی به صورت متناوب وجود خواهد داشت ولی در عمل وجود مقاومت اهمی سیم پیچ ها در اینجا مفید واقع شده و باعث میرایی جریان می شود و جریان در طی چند سیکل حالت سینوسی با پیک نرمال به خود می گیرد. شکل موج جریان هجومی در سیکل اول برای یک ترانسفورماتور نمونه در شکل ۶ رسم شده است



شکل ۶ سیکل اول جریان هجومی نمونه



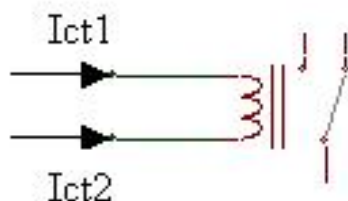
شکل ۵ تاثیر مقاومت اولیه بر جریان هجومی



شکل ۷ تاثیر مقاومت اهمی سیم پیچ ها بر میرا شدن جریان هجومی مقدار پیک جریان هجومی در سیکل های بعد در شکل ۷ مشخص می باشد . توجه شود که این پیک در سیکل های بعد به دلیل وجود مقاومت سیم پیچ ها و تشکیل یک مدار RL کاهش می یابد . توجه کنید که طراح ترانسفورماتور نمی تواند مقاومت اولیه را به دلیل مسائل حرارتی خیلی زیاد بگیرد.

۳- حفاظت دیفرانسیل جریان :

ایده اصلی در حفاظت دیفرانسیل جریان استفاده از CTها در سیم پیچ های اولیه و ثانویه می باشد که توسط آنها جریان خطوط در دو طرف به مقدار یکسانی تبدیل می شوند . برای بایاس هسته رله بدون اینکه آسیب ببیند این تغییر سطح جریان باید جریان هایی در محدوده ۱ تا ۵ آمپر ایجاد کند . بنابراین عملکرد CTها تغییر سطح جریان های اولیه و ثانویه به اندازه و فاز یکسان و مناسب می باشد . از آنجایی که جریان های اعمالی به رله برابر بوده (ولی در جهت های متفاوت) رله در شرایط کار عادی عمل نمی کند .



شکل ۸

خرابی سیم پیچ ها یا فیدر های ورودی و خروجی باعث عدم تعادل در جریان ها شده و با عملکرد رله ، ترانسفورماتور از خط خارج شده و از آسیب بیشتر جلوگیری می شود . در این روش ممکن است با سه مشکل مواجه بشویم:

- ۱- یکنواخت نبودن نسبت تبدیل ترانس های جریان CT : هر چند در شرایط عبور جریان بار ، هیچگونه جریانی از رله عبور نکرده ولی به هنگام وقوع خطا می تواند یکی از عوامل ایجاد اختلاف جریان قابل توجهی در مقدار جریان گذرنده از رله بشود که برای آن مضر است .
 - ۲- تغییر نسبت تبدیل ترانسفورماتور به وسیله تپ چنجر : نسبت تبدیل ترانس های جریان را فقط می توان در یک نقطه از کار تپ چنجر تعیین نمود . در دیگر موقعیت های تپ چنجر به دلیل تغییر نامناسب سطح جریان ها باعث عبور جریان از رله دیفرانسیل و عملکرد غلط آن خواهد شد .
 - ۳- به هنگام برق دار کردن ترانسفورماتور جریان هجومی در طرف اولیه ایجاد گشته که منجر به ایجاد اختلاف جریان و عملکرد نامناسب رله خواهد شد .
- با بایاس نمودن مناسب این رله ها و همچنین استفاده از تجهیزات مناسب از نظر کلاس دقت و سایر مشخصات، مشکلات متغیر بودن نسبت تبدیل ترانسفورماتور و یکنواخت نبودن نسبت تبدیل CT کنترل شده و تمام سعی و کوشش سازندگان رله های دیفرانسیل در پایدار کردن آنها در برابر جریان های هجومی می باشد [4] .

در عمل سیستم کنترل و مقایسه جدا از عملگر می باشد. در واقع یک سیستم منطقی جریان های تغییر سطح یافته را کنترل کرده و فرمان مناسب را به رله می دهد .

در ترانسفورماتورهای قدرت CTها باید به گونه ای اتصال یابند تا اختلاف فاز در دو طرف ترانسفورماتورهای قدرت جبران شود. در اتصال ترانسفورماتورهای قدرت به صورت ستاره – مثلث و مثلث – ستاره بین جریان های دو طرف ۳۰ درجه اختلاف فاز وجود دارد بنابراین برای جبران این اختلاف فاز CTها باید بر عکس ترتیب بالا و به صورت مثلث – ستاره و ستاره – مثلث اتصال یابند . توجه شود که عدم استفاده از این ترتیب ، باعث پیچیده شدن سیستم منطقی می شود. زیرا این سیستم باید دو جریان با فازهای متفاوت را مقایسه کند .

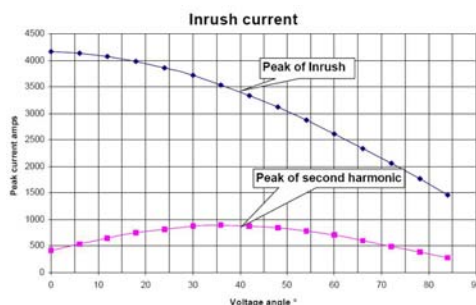
همانگونه که شکل ۹ مشاهده می شود در مدل های دیگر ترانسفورماتور مانند ترانسفورماتور با سر وسط نیز می توان با ساخت سیستم منطقی مناسب و نمونه برداری از جریان سه سیم پیچ و مقایسه آنها می توان حفاظت دیفرانسیل را برقرار ساخت.

۴- تاثیر جریان هجومی بر حفاظت دیفرانسیل و حذف آن :

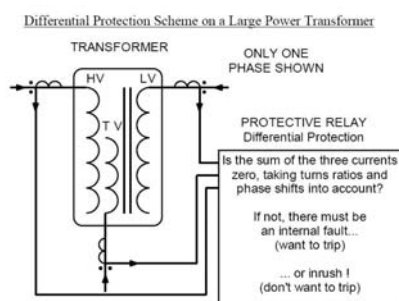
یکی از مشکلاتی که در رله های دیفرانسیل جریان برای حفاظت ترانسفورماتورها رخ می دهد به وجود آمدن جریان هجومی می باشد که همواره هنگام تحریک ابتدایی ترانسفورماتور ایجاد شده و نیاز به قطع کردن مدار نمی باشد . هنگامی که ترانسفورماتور تحریک می شود جریان هجومی در سیم پیچ اولیه به وجود می آید. در این هنگام جریان هجومی برای رله دیفرانسیل مانند جریان اتصال کوتاه (ناشی از خرابی داخلی ترانس) منظور می شود .

جریان هجومی دارای بعضی پارامترهای خاص خود می باشد . دامنه آن شاید تا ۶ برابر جریان بار کامل برسد . این جریان آهسته آهسته میرا شده و در ترانسفورماتورهای کوچک تا ۱۰ سیکل و در ترانسفورماتورهای بزرگ تا یک دقیقه ادامه دارد . محتوای فرکانسی جریان هجومی با محتوای فرکانسی جریان بار عادی و جریان اتصال کوتاه شده تعدادی دور از سیم پیچ ها (جریان هنگام خرابی سیم پیچ ها) متفاوت می باشد . مولفه هارمونیک دوم جریان در ترانسفورماتور در هیچ شرایطی به جز هنگام تحریک اولیه ترانسفورماتور (در حالت کلی جریان هجومی) ایجاد نمی شود و یا اینکه حداکثر دامنه آن کوچک می باشد . بنابراین می توان با استفاده از مولفه هارمونیک دوم ، رله های دیفرانسیل را در برابر جریان هجومی از کار انداخت (با استفاده از مدار کنترلی مناسب). بدین گونه که در صورت وجود اختلاف در جریان های نمونه برداری شده توسط CTها، اگر دامنه هارمونیک دوم جریان اولیه بزرگ باشد نشانه آن است که این اختلاف ناشی از جریان هجومی بوده و لازم نیست که رله دیفرانسیل عمل کند. اما اگر دامنه هارمونیک دوم جریان اولیه کوچک باشد نشانه آن است که این اختلاف ناشی از خرابی ترانسفورماتور بوده و باید رله عمل کند .

یکی از پارامترهایی که برای ترانسفورماتور ها در اختیار مشتریان قرار می گیرد حداقل نسبت هارمونیک دوم به پیک جریان هجومی بر حسب درصد می باشد . به شکل ۱۰ توجه نمایید. مشتریان از این پارامتر برای تشخیص جریان هجومی از جریان اتصال کوتاه استفاده می کنند این مینیمم درصد زمانی که ترانسفورماتور در زاویه صفر تحریک می شود رخ می دهد . در این شرایط ماکزیمم پیک جریان هجومی تولید می شود .



شکل ۱۰ جریان هجومی و هارمونیک دوم جریان هجومی



شکل ۹ حفاظت دیفرانسیل و جریان هجومی

با توجه به این نمودار می توان حفاظت دیفرانسیل را طبق الگوی زیر برقرار ساخت :

- ۱- نمونه برداری از جریان های اولیه و ثانویه (در صورت سه سر بودن ترانسفورماتور از جریان سیم پیچ سوم نیز نمونه برداری شود) و تغییر آنها در یک سطح برابر.
- ۲- در صورت حس شدن اختلاف جریان، گام های ۳ و ۴ طی شود. در غیر این صورت برای ادامه حفاظت، به مرحله ۱ باز می گردیم.
- ۳- در صورتی که نسبت هارمونیک دوم جریان اولیه به مقدار پیک آن از حداقل نسبت هارمونیک دوم جریان هجومی به مقدار پیک آن که به صورت یک پارامتر در اختیار مشتریان قرار می گیرد بزرگتر باشد، اختلاف جریان حس شده ناشی از جریان هجومی بوده و بدون فرمان دادن به رله برای ادامه کار به مرحله ۱ باز می گردیم.
- ۴- چنانچه نسبت هارمونیک دوم جریان اولیه به مقدار پیک آن از حداقل نسبت ذکر شده در مرحله ۳ کوچکتر باشد، اختلاف جریان حس شده ناشی از اتصال کوتاه یا خرابی ترانسفورماتور بوده و باید به رله فرمان داده شود تا ترانسفورماتور جهت ترمیم از خط خارج شود.

۵- نتیجه گیری :

با توجه به ایجاد جریان هجومی با دامنه بزرگ در طرف اولیه ترانسفورماتور هنگام برق دار کردن آن ، رله حفاظت دیفرانسیل جریان ، اختلاف جریان را حس کرده و می خواهد ترانسفورماتور را از خط بیرون کند. برای جلوگیری از این عملکرد غلط رله حفاظت دیفرانسیل باید به هارمونیک دوم جریان طرف اولیه توجه کرد و هر چند که اختلاف جریان حس شود اما اگر دامنه هارمونیک دوم بزرگ باشد ، رله عمل نکند .

۶- فهرست مراجع:

- [1] Sen, P. C., "Principles of Electric Machines and Power Electronics", Second ed., Jon Wiley & Sons Inc., 1997.
- [2] De León,F, Gladstone,B,Van Der Veen,M "Transformer Based Solutions toPower Quality Problems, World 2001Conference, eptember/12/2001
- [3]Ramsis Girgis," Inrush Current Tutorial Session",IEEE Standards Transformers Committee,Orlando, Florida,Oct, 15,2001