

کاهش جریان هجومی در ترانسفورماتورهای سه فاز با خنثی ایزوله شده¹

در این مقاله، یک روش جدید برای کاهش جریان هجومی ترانسفورماتورهای سه فاز با خنثی جداشده ارائه شده است. در این روش از سوئیچینگ کنترل شده استفاده شده است و به بریکر های جریان مستقل از قطب نیاز دارد. دو عملیات سوئیچینگ هم در لحظه‌ای که کاهش بهینه جریان هجومی بدست می‌آید، ارائه می‌شوند.

کلمات کلیدی: کلید واژه ها: ATP-EMTP، کنترل سوئیچینگ، جریان جاری، ترانس برق، شار پایدار، خنثی

ایزوله شده

I. مقدمه

برق کنترل نشده ترانسفورماتورهای قدرت می‌تواند باعث عدم تقارن شار بزرگ و اشباع هسته مغناطیس ترانسفورماتور شود. این باعث اشباع در مقادیر جریان بزرگ با یک طیف هارمونیک گسترده و یک مؤلفه جریان مستقیم بزرگ می‌شود [1].

جریان های هجومی می‌توانند باعث عملیات نادرست رله‌های حفاظتی [2 و 3]، کاهش عمر ترانسفورماتور [4 و 5] و کاهش کیفیت توان سیستم شود [6 و 7]. این مقادیر باتوجه به دو عامل اصلی کاهش می‌یابند که این دو عبارتند از: نقطه‌ای بر روی شکل موج ولتاژ که در آن سوئیچ‌ها بسته شده‌اند و دیگری شار پسماند در هسته ترانسفورماتور [8].

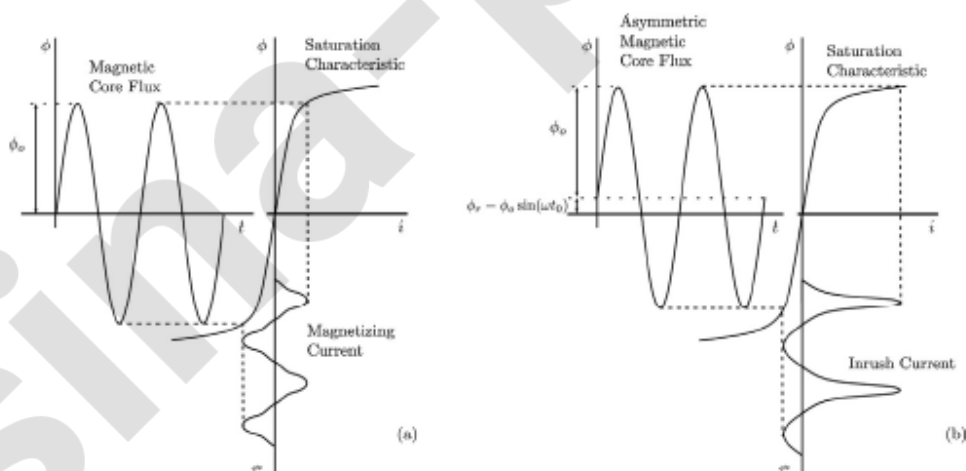
چندین روش، مثل جبران سازی های سری [9 و 10]، برق فاز متوالی با یک مقاومت زمین [11 و 12] و سوئیچ کنترل شده [1 و 8 و 13 و 14] برای کاهش جریان هجومی توسعه و ارائه شده‌اند. با توجه به این موارد، سوئیچ‌های کنترل شده که شارژ پسماند هسته را بحساب می‌آورند، بیشتر روش‌های امیدوار کننده‌ای هستند. اصل اساسی آن این است که شارهای پسماند برابر با شارهای مربوط به لحظه برق هستند. اگر منبع تغذیه به ترانسفورماتور متصل باشد، شار پرسپکتیو، یک شار پایدار خواهد بود.

¹ isolated neutral

برای موفقیت در روش‌های سوئیچینگ کنترل شده، به بریکرهای مدار قطب‌های مستقل نیاز است که از جمله ویژگی‌های آنها پایداری آنها و قابل کنترل بودنشان می‌باشد. انحراف زمان بسته شدن دلخواه کمتر از $\pm 1ms$ می‌باشد [13]. این باعث هزینه اضافی می‌شود که با کاهش هزینه‌های مربوط به تعمیرات و نگهداری بریکرها و ترانسفورماتورها قابل اجرا می‌باشد [15]. با اینحال، وقتی امنیت و قابلیت اطمینان سیستم مهم است، از هزینه‌های افزایشی سوئیچینگ قابل کنترل و چشم‌پوشی می‌شود.

در عمل، در [8 و 1]، برق کنترل شده به ترانسفورماتور سه فاز که خنثی آن به زمین وصل شده است، داده شده است. در اینحالت، یک فاز در نقطه بهینه در شکل موج ولتاژ برقرار شده است و دو فاز دیگر بعداً برقرار می‌شوند. این روش بطور گسترده‌ای در سیستم‌های خنثی زمین استفاده می‌شود اما در زمانیکه خنثی ایزوله شده است قابل استفاده نمی‌باشد. از اینرو در این حالت، با بسته شدن یک قطب از بریکرهای سه فاز هیچ ولتاژی به سیم پیچ‌های ترانسفورماتور اعمال نمی‌شود.

یک روش سوئیچینگ کنترل شده برای سیستم‌های خنثی ایزوله شده در [16] توضیح داده شده است. این روش مبتنی بر شارهای پسماند پرسپکتیو است و از ولتاژهای فاز به فاز محاسبه شده است اما این روش یک بیان تحلیلی درباره زمان بسته شدن مناسب ارائه نمی‌دهد. در این مقاله، زمان‌های سوئیچینگ بهینه مبتنی بر راه حل مسئله مینیمم و ماکزیمم به منظور به حداقل رساندن تقارن شار در طول برقرار بودن ترانسفورماتور بصورت تحلیلی ارائه شده است.



شکل (1). جریان هجومی ایجاد شده در زمانی که شار از حدی تجاوز می کند

علاوه بر این، جریان های پسماند از ولتاژ فاز به زمین محاسبه می شوند و سیگنال های ولتاژ مورد نیاز کنترلر برای این پروسه ممکن است از ترانسفورماتورهای ولتاژ (VTها) یا ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی (CVTها) که معمولاً در مجاورت ترانسفورماتورها نصب شده اند بدست می آیند. این روش جدید یک رویکرد جدید برای کاهش بهینه جریان هجومی ارائه می دهد.

در بخش 2، بر روی اصول سوئیچینگ کنترل شده به منظور کاهش جریان هجومی تمرکز شده است. بخش 3، اندازه گیری شار پسماند در ترانسفورماتورها را با استفاده از ولتاژ فاز به زمین توصیف می کند. بخش 4، روش برق دار شدن کنترل شده ارائه شده را ارائه کرده است. در حالیکه بخش 5، نتایج شبیه سازی را که با کاهش جریان هجومی در طول برقدار شدن مقابله می کند را نشان می دهد. نتایج این مقاله هم در بخش 6 آمده اند .

2- اصول سوئیچینگ کنترل شده

فرض کنید یک ولتاژ $u(t) = U_0 \cos(\omega t)$ به یک ترانسفورماتور بی بار در لحظه t_0 اعمال می شود. همانطور که می دانیم شار هسته، انتگرال ولتاژ داده شده می باشد و بصورت زیر بیان می شود

$$\phi(t) = \phi_r + \frac{1}{N} \int_{t_0}^t u(\tau) d\tau = \phi_r - \phi_0 \sin(\omega t_0) + \phi_0 \sin(\omega t) \quad \text{معادله (2)}$$

که در آن $\phi_0 = U_0 / (N\omega)$ اندازه شار سینوسی است و ϕ_r شار پسماند اولیه در لحظه t_0 است. مغناطیس دائم هسته است که بخاطر هیستریزیس مواد فرومغناطیسی در زمانی که ترانسفورماتور دوباره برقدار می شود، باقی می ماند.

از شکل (1)، ماکزیمم مقدار ممکن شار $\phi(t)$ در این فرآیند $2\phi_0 + \phi_r$ می باشد. ترانسفورماتورهای توان برای عمل در یک شار و ولتاژ مجاز نزدیک به نقطه زانو اشباع طراحی شده اند (شکل 1a) به محض اینکه شار هسته از مقدار مجاوز تجاوز می کند، هسته اشباع عمیق می شود و این باعث ایجاد جریان مغناطیسی بزرگ تر می شود (شکل 1b).

شکل (2) قسمت اصلی حذف تقارن شار هسته را نشان می دهد. شار پرسپکتیو (انتگرال نامحدود ولتاژ اعمال شده) در لحظه وصل شدن باید برابر با شار پسماند باشد. این معادل با انتخاب لحظه وصل t_0 است که $\Phi_r = \Phi_0 \sin(\omega t_0)$ می باشد.

3- اندازه گیری شار مغناطیسی پسماند در ترانسفورماتورهای زمین نشده^۲

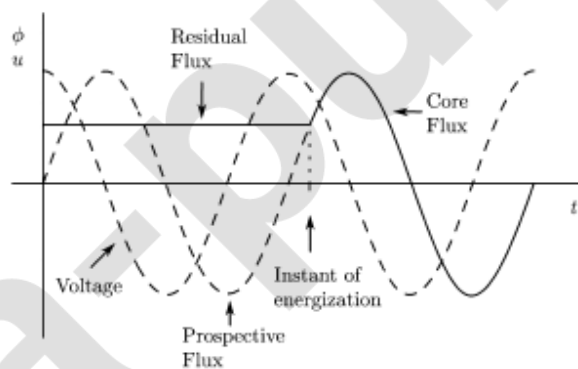
شارهای پسماند با انتگرال گیری از ولتاژهای فاز در طول برق دهی مجدد مطابق با قانون فاراده بدست می آیند. برای این منظور، سه ولتاژ بین خطوط و نقطه خنثی ترانسفورمانور نیاز است. به دلایل اقتصادی، خنثی ممکن است خارج از مخزن نصب شود، در نتیجه باعث ذخیره هزینه بوشینگ می شود. بنابراین، نقطه خنثی ترانسفورماتور گاهی اوقات غیرقابل دسترسی می شود. با اینحال، ولتاژهای فاز ترانسفورماتورهای از ولتاژهای فاز به زمین بدست می آیند. شکل (3) یک سیستم ساده برای برق رسانی ترانسفورماتورهای زمین نشده نشان می دهد و معادلات زیر در آن برقرارند:

$$u_{AN} - u_{BN} = u_{AG} - u_{BG}$$

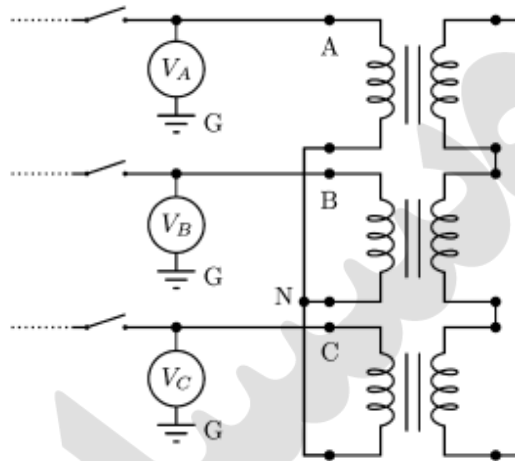
$$u_{BN} - u_{CN} = u_{BG} - u_{CG}$$

$$u_{CN} - u_{AN} = u_{CG} - u_{AG}$$

معادله (2)



شکل (2). برق بهینه برای حذف عدم تقارن شار هسته



شکل (3). سیستم ساده برای برق رسانی به ترانسفورماتور زمین نشده

از اینرو سیم پیچ ثانویه به ولتاژ وصل می‌شود

$$u_{AN} + u_{BN} + u_{CN} = 0 \quad \text{معادله (3)}$$

با توجه به معادلات 2 و 3، ولتاژهای فاز ترانسفورماتور بدست می‌آیند:

$$\begin{aligned} u_{AN} &= \frac{1}{3}(2u_{AG} - u_{BG} - u_{CG}) \\ u_{BN} &= \frac{1}{3}(2u_{BG} - u_{CG} - u_{AG}) \\ u_{CN} &= \frac{1}{3}(2u_{CG} - u_{AG} - u_{BG}) \end{aligned} \quad \text{معادله (4)}$$

در نهایت شارهای $\Phi_A(t)$ ، $\Phi_B(t)$ و $\Phi_C(t)$ با انتگرال گیری از ولتاژهای فاز مربوطه ترانسفورماتور بدست می‌آیند.

4-روش ارائه شده

دران بخش، یک روش برق رسانی برای یک ترانسفورماتور سه فاز با خنثی ایزوله شده ارائه شده است. این روش برای ترانسفورماتورهای سه فاز با اتصال سیم پیچ wye قابل ارائه می‌باشد که در آن مجموع شار سیم پیچ‌ها برابر صفر است که ترانسفورماتورهای سه لگ هسته‌ای یا ترانسفورماتورها با یک اتصال ولتاژ در سیم پیچ دیگر هستند.

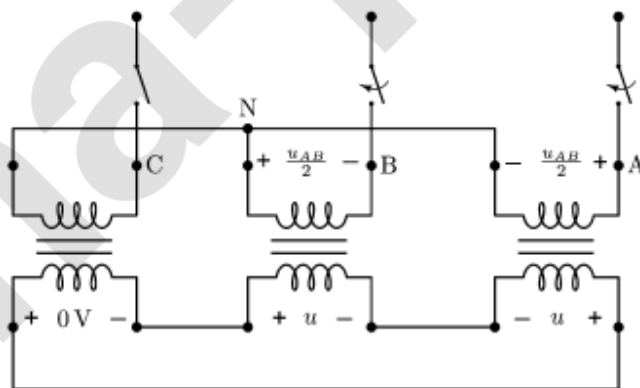
در ابتدا، به وضوح این روش تحت این فرض ارائه شده است که شارهای پسماند یک طرح متقارن $(+R, -R, 0)$ با شار پسماند نزدیک صفر در یک فاز و یک مقدار محدود اضافه و یک مقدار محدود منفی در دو سیم پیچ دیگر ارائه می‌دهد. این طرح قابل اجرا است یا حداقل با برق دهی مجدد کنترل شده مناسب تقریب زده می‌شود [14 و 17 و 18].

پس این روش برای طرح‌های شار پسماند دیگر قابل توسعه می‌باشد. در حالتی که یک برق دهی مجدد بدون برنامه موجود انجام می‌گیرد به عنوان مثال، زمانی که یک خطا رخ می‌دهد، مجموع شارهای پسماند صفر باقی می‌ماند اما هر طرحی در هسته مغناطیسی R_1, R_2, R_3 با $R_1 + R_2 + R_3 = 0$ قابل دریافت است. در این شرایط، این روش با تغییرات جزئی قابل اغماض است. جریان هجومی می‌تواند بطور کامل در هر حالت حذف شود.

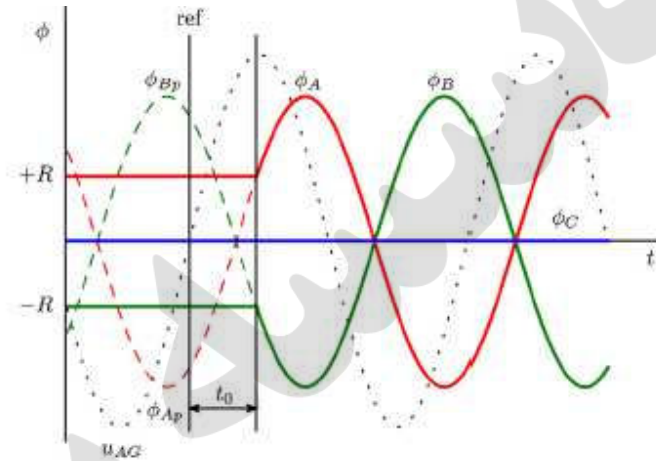
1-4 روش سوئیچینگ با طرح شار پسماند $-R, +R, 0$

شکل (4) طرح الکتریکی یک ترانسفورماتور سه فاز $Y - \Delta$ را برای توضیح این روش نشان می‌دهد. در این کار فرض می‌شود که شارهای پسماند $\phi_A = R, \phi_B = -R, \phi_C = 0$ می‌باشد. اگرچه این روش می‌تواند به راحتی به حالت‌های دیگر هم ارائه شود.

در ابتدا این روش برق رسانی در فاز با شارهای پسماند $+R$ و $-R$ ارائه می‌شود. به عنوان مثال فازهای A و B در زمان وصل t_0 زمانی که شارهای پرسپکتیو $\phi_{AP}(t_0)$ و $\phi_{BP}(t_0)$ با شارهای پسماند $\phi_{AP}(t_0) = R$ و $\phi_{BP}(t_0) = -R$ برابرند.



شکل (4). ترانسفورماتور سه فاز، نقطه خنثی زمین نشده



شکل (5). حالت شارهای هسته واقعی (خطوط پیوسته) و پرسپکتیو (خط چین‌ها) برای سوئیچینگ A و B در t_0 حالت طرح متقارن

در $t > t_0$ داریم $U_{AN}(t) = -U_{BN}(t) = U_{AB}(t)/2$ و $U_{CN}(t) = 0$ و شارهای متناظر رابطه مشابهی مثل ولتاژها دارند. به عنوان مثال، $\phi_A(t) = -\phi_B(t)$ ، $\phi_C(t) = 0$ شکل (5) شارهای واقعی (خطوط پیوسته) و شارهای پرسپکتیو (خطوط خط چین) را مثل ولتاژهای فاز A به زمین U_{AG} نشان می‌دهد. دقت کنید زمانیکه $t < t_0$ باشد، آرهای واقعی هسته، شارهای پسماند هستند و اما زمانیکه $t > t_0$ باشد، سه شار، شارهای پرسپکتیو متناظر را دنبال می‌کنند (فاز C صفر باقی می‌ماند).

با استفاده از مقدار صفر ولتاژ U_{AG} ، مشتق مثبت با عنوان مرجع، اولین زمان سوئیچینگ ممکنه t_0 بدین صورت بدست می‌آید:

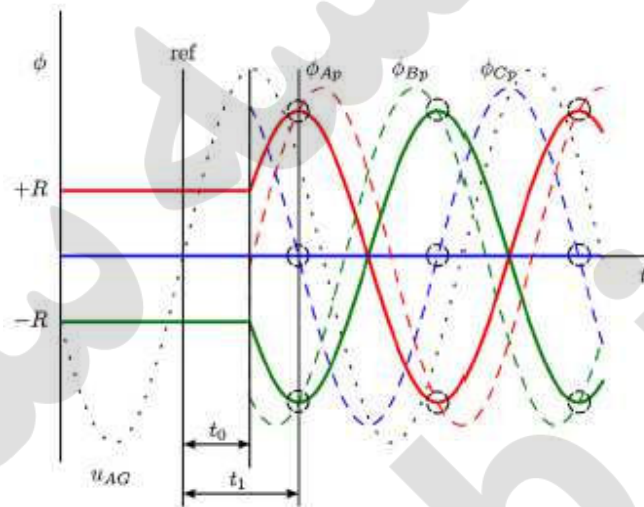
$$t_0 = \frac{\arcsin(2R/\sqrt{3}\phi_0) + \pi/3}{2\pi f} \quad \text{معادله (5)}$$

که در آن

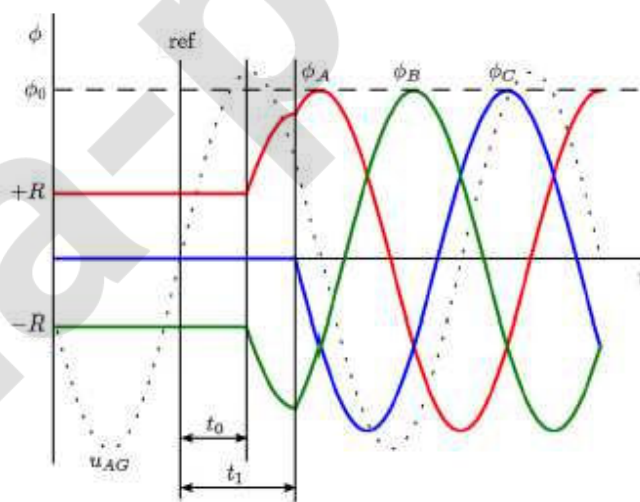
$$\phi_0 = \frac{U}{4.44\pi f} \quad \text{معادله (6)}$$

زمانی مقدار یک شار پیک است که ولتاژ فاز به زمین عددی (اسمی) با مقدار rms که با استفاده از مشتق a بدست می‌آید، به یک سیم پیچ ترانسفورماتور اعمال می‌شود. f فرکانس شبکه است و n تعداد دور سیم پیچ است. در نهایت، در این روش وقتی شارهای واقعی بعد از بستن t_0 ، همه سه شار پرسپکتیو را مطابق با تعادل سیستم متعادل می‌کنند، سومین قطب در لحظه t_1 بسته می‌شود که در شکل (6) هم نشان داده شده است. که داریم

$$\phi_{AP}(t_1) = \phi_A(t_1), \phi_{BP}(t_1) = \phi_B(t_1), \phi_{CP}(t_1) = \phi_C(t_1)$$



شکل (6). لحظه بسته شدن بهینه شدن برای فا C. حالت طرح متقارن، شارهای واقعی (خطوط صاف) و شارهای پرسپکتیو (خط چین)



شکل (7). شارها در طول کل فرآیند برق دهی حالت طرح متقارن

این روش یک مزایا دارد که همنه معادلات همزمان در لحظه صفر در طول $\phi_{CP}(t)$ رضایت بخش هستند. به عنوان مثال، دو بار در هر سیکل که در شکل (4) با دایره مشخص شده‌اند. راه حل آن هم بصورت زیر است:

$$t_1 = \frac{\arcsin(\phi_0/\phi_0) - \pi/6}{2\pi f} \quad \text{معادله (7)}$$

با در نظر گرفتن $\phi_{CR} = 0$ ، اولین راه حل مثبت برابر با $t_1 = \frac{T}{2} - \frac{T}{12} = 5T/12$ است که در آن $t = 1/$ f پریود شکل موج است. کل فرآیند برق دهی در شکل (7) نشان داده شده است که در آن دو فاز اول در t_0 برقرار شده‌اند و سومین فاز در t_1 برق دار می‌شود. می‌توان مشاهده کرد که شارها در هیچ زمانی از مقادیر اسمی شان ϕ_0 تجاوز نمی‌کنند و بنابراین هیچ اشباعی درهسته ندارند. در نتیجه به یک کاهش جریان هجومی می‌رسد.

4-2 روش سوئیچینگ با شارهای پسماند نامتقارن

اگر الگوی متقارن بارهای پسماند $0, +R, -R$ در طول برق دهی مجدد قابل مقایسه نباشد، پس باید تغییرات اساسی برای تعمیم روش ایجاد کنیم. به منظور توصیف فرآیند برق دهی بصورت واضح تر فرض می‌کنیم که $\phi_{Ar} = R_1$ و $\phi_{Br} = R_2$ و $\phi_{Cr} = R_3$ با $|R_1|, |R_2| \geq |R_3|$ و $R_1 > 0$ می‌باشد.

در حالت قبل، دو فاز با بزرگترین شار پسماند دوتای اولی هستند که بسته می‌شوند اما حالا شارهای پرسپکتیو $\phi_{AP}(t)$ و $\phi_{BP}(t)$ با شارهای پسماند ϕ_{Ar} و ϕ_{Br} در هیچ لحظه‌ای تطابق ندارند.

با اینحال، یک لحظه بهینه t_0 وجود دارد که می‌تواند از طریق راه حل‌های مسئله ماگزیم-مینیمم گفته شده در زیر بدست می‌آید:

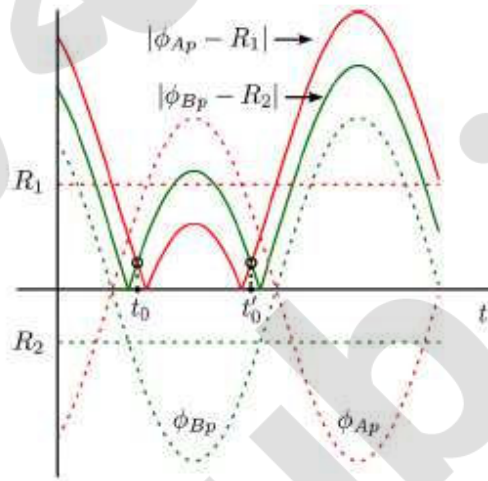
$$\min_{\omega \in [0, 2\pi]} \max \{ |\phi_{AP}(t) - R_1|, |\phi_{BP}(t) - R_2| \} \quad \text{معادله (8)}$$

همانطور که در شکل (8) نشان داده شده است، مسئله ماگزیم-مینیمم در (8) در هر پریود دو راه حل وجود دارد که در اینجا با استفاده از دایره نشان داده شده‌اند که در آن بزرگترین اختلاف بین شارهای پسماند و پرسپکتیو دو

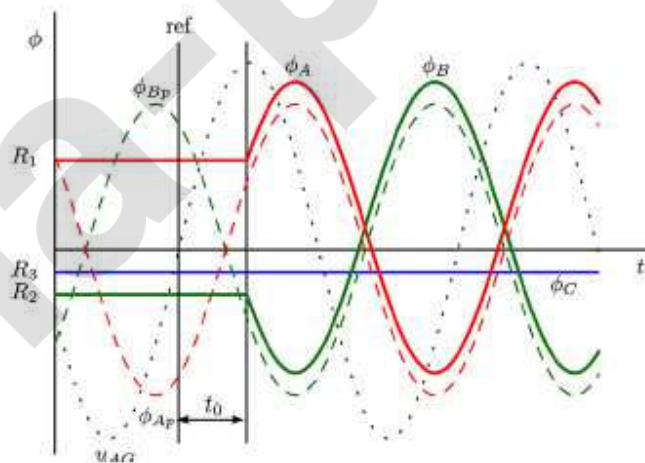
فاز آنها حداقل است. در حالت گرافیکی، می‌توان مشاهده کرد که راه حل‌ها زمانی اتفاق می‌افتد که $|\phi_{AP}(t_0) - R_1| = |\phi_{BP}(t_1) - R_2|$ باشد و در لحظه t_0 به صورت تحلیلی عبارت است از:

$$t_0 = \frac{\arcsin(R_1 - R_2/\sqrt{3}\phi_0) + \pi/3}{2\pi f} \quad \text{معادله (9)}$$

شکل (9) شارهای واقعی و پرسپکتیو بعد از برق رسانی فازهای A و B نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در $t=t_0$ شارهای فاز A و B برابر با شارهای پرسپکتیو متناظر نیستند. با اینحال، اختلاف آنها حداقل است که قابل محاسبه نمی‌باشد.



شکل (8). لحظه بسته شدن بهینه که راه حل مسئله مینیمم ماکزیمم است

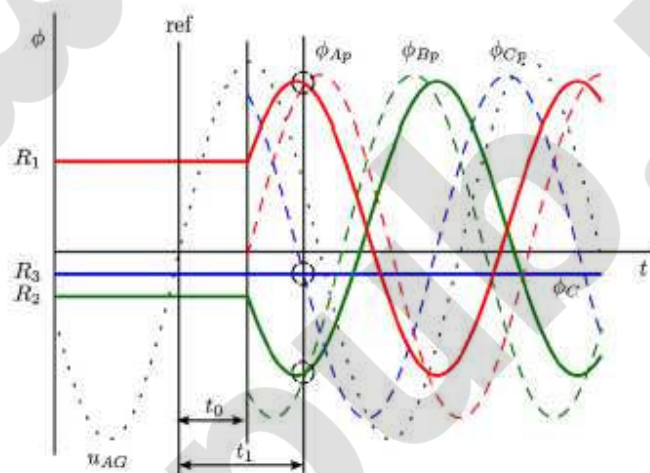


شکل (9). شارهای هسته واقعی (خطوط صاف) و پرسپکتیو (خط چین) برای سوئیچینگ فاز A و B در t_0 . حالت طرح نامتقارن

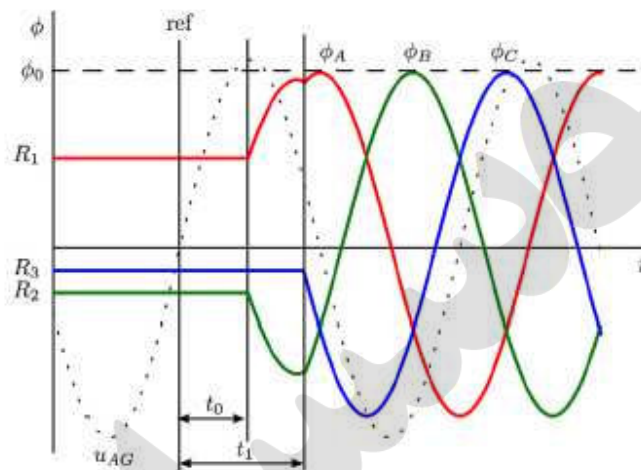
در شکل (10) می توان مشاهده کرد که بعد از بسته شدن در لحظه t_0 . شارهای واقعی (خطوط صاف) همه سه شار پرسپکتیو جدید (خط چین ها) را با توجه به سیستم تعادل دربار در هر سبک تطبیق می دهند.

سومین قطب C را در لحظه t_1 زمانیکه شارهای پسماند، با شارهای پرسپکتیو $\phi_{AP}(t_1) = \phi_A(t_1)$ ، $\phi_{BP}(t_1) = \phi_B(t_1)$ و $\phi_{CP}(t_1) = \phi_C(t_1)$ مطابقت می کند می تواند بسنه شود. مقدار t_1 از رابطه زیر بدست می آید:

$$t_1 = \frac{\arcsin(R_3/\phi_0) - \pi/6}{2\pi f} \quad \text{معادله (10)}$$



شکل (10). شارهای واقعی هسته (خطوط صاف) و پرسپکتیو (خط چین) برای سوئیچینگ فاز C در t_1 . در طرح نامتقارن



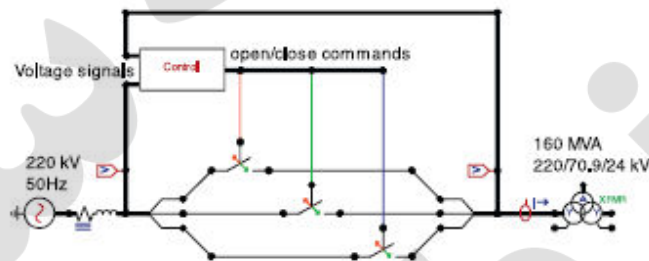
شکل (11). شارها در طول کل فرآیند برق دهی حالت طرح نامتقارن

با بدنبال کردن این روش می‌توان دید که شارهای هسته بعد از اینکه برق دهی شدند، با شارهای سیم متعادل حالت پایدار برابر هستند. شکل 11، را ببینید. در فاصله t_0 و t_1 شارهای مغناطیسی یک مؤلفه DC کوچک دارند، اما مقدار نرخ شار Φ_1 از یک مقدار مشخص تجاوز نمی‌کند چون ولتاژ اعمال شده به سیم پیچ‌های ترانسفورماتور کمتر از حد مجاز است. بنابراین، هسته ترانسفورماتور در طول برق رسانی به اشباع نمی‌رود و جریان هجومی به جریان کاهشی تخلیه، کاهش می‌یابد.

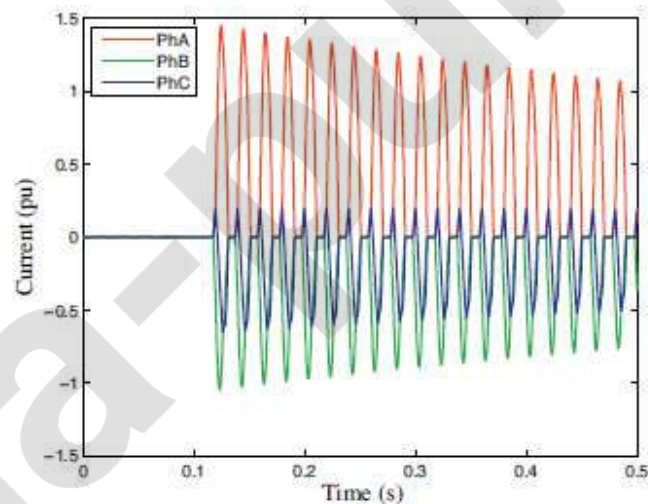
اگر روش‌های ارائه شده برای برق دهی ترانسفورماتور با طرح‌های متقارن و نامتقارن شارهای پسماند تجزیه و تحلیل شوند، می‌توان مشاهده کرد که حالت قبلی تنها یک حالت خاص از دومی می‌باشد. از اینرو، تنها یک الگوریتم باید در قطعه سوئیچینگ کنترل شده برنامه ریزی شود. شبه کد الگوریتم ارائه شده بصورت زیر است:

- 1- اندازه گیری ولتاژهای فاز به زمین در طول برق رسانی مجدد
- 2- محاسبه ولتاژهای فاز ترانسفورماتور با توجه به (4)
- 3- محاسبه شارهای پسماند با انتگرال گیری از ولتاژهای فاز متناظر
- 4- دو فاز که بیشترین شار پسماند در لحظه داده شده (9) را دارند، می‌بندیم.
- 5- سومین فاز را زمانی می‌بندیم که شارهای پسماند و پرسپکتیو برابر باشند که لحظه بستن آن از (10) بدست می‌آید.
- 5- شبیه سازی سوئیچینگ ترانسفورماتور زمین نشده

چند شبیه سازی با استفاده از برنامه گذرا الکترومغناطیسی ATP/EMTP برای تأیید روش ارائه شده انجام شده است. سیستم تست برای شبیه سازی ها در شکل (12) نشان داده شده است که از یک منبع 220 KV ، 50HZ و یک ترانسفورماتور سه لگ هسته Y/Δ تشکیل شده است. ترانسفورماتورها با استفاده از مدل ترانسفورماتور هایبرید (ترکیبی) مدلسازی شده است که پارامترهای آن از اطلاعات تست استاندارد ارائه شده توسط تولید کننده بدست می آیند. مدل ترانسفورماتور هایبرید، یک ارائه دقیق از هسته ترانسفورماتورها می دهد [19-21]. برق دهی تصادفی این ترانسفورماتور ها ممکن است باعث ایجاد یک شار دینامیکی بزرگ و اشباع هسته شود. این نتایج اشباع در جریان هایی با دامنه بالا در شکل (13) نشان داده شده اند.



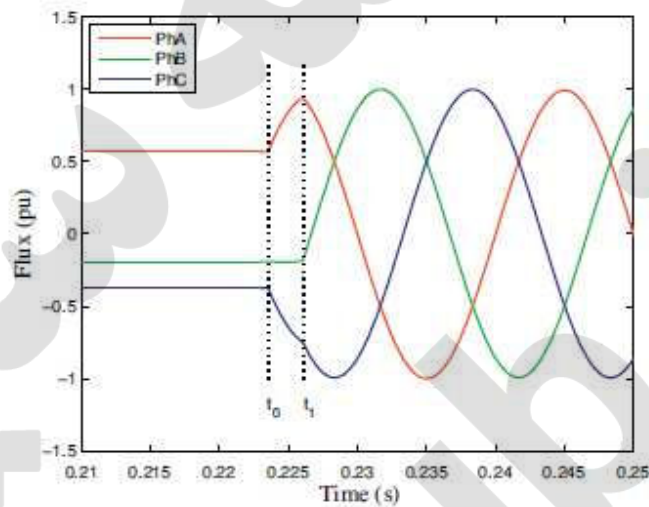
شکل (12). مدار خام ATPD برای شبیه سازی سیستم



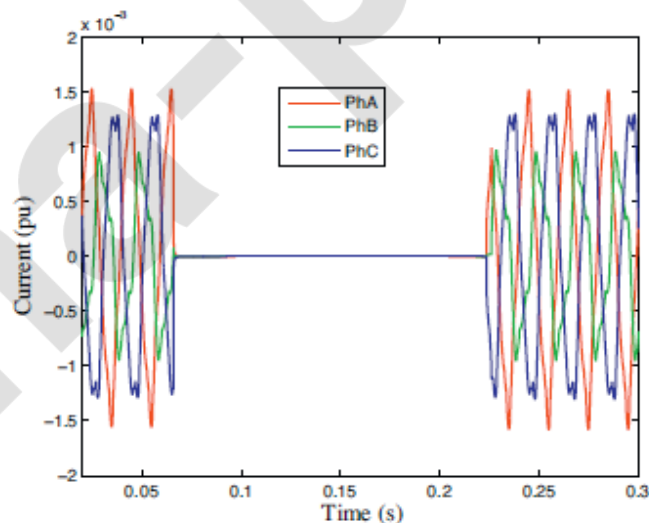
شکل (13). جریان تهاجمی در طول برق رسانی کنترل شده

جریان هجومی می تواند از طریق کنترل برق دهی ترانسفورماتور با روش ارائه شده حذف شود. در طول برق دهی مجدد، شارهای پسماند با انتگرال گیری از ولتاژهای فاز مربوطه طبق (4) بدست می آیند که در این حالت $\Phi_{Ar} = 0.56pu$ ، $\Phi_{Br} = -0.22pu$ و $\Phi_{Cr} = -0.34pu$ می باشد (شکل 14)

شکل (14)، ارزیابی شار هسته در طول برق رسانی با توجه به روش ارائه شده در بخش قبل را نشان می دهد. دو فاز با بالاترین شار پسماند که فازهای A و C هستند در لحظه t_1 بسته می شوند و توسط معادله (9) بدست آمده اند. زمانی بسته می شود که شار پرسپکتیوش برابر با شار پسماند Φ_{Br} در لحظه t_1 باشد و توسط (10) بدست می آید.



شکل (14). شارهای هسته در طول برق رسانی



شکل (15). جریان‌ها در طول فرایند برق‌رسانی و برق‌رسانی مجدد

از آنجا که شار از مقدار معینی تجاوز نمی‌کند، پدیده اشباع در هسته مغناطیس رخ نمی‌دهد و جریان در طول برق‌رسانی مثل جریان مغناطیس‌شوندگی ترانسفورماتوری بی‌بار در حالت پایدار است که در شکل (15) هم آمده است.

6- نتیجه‌گیری

در این کار یک روش برای کاهش جریان هجومی ترانسفورماتور سه فاز با خنثی‌ایزوله شده برای سوئیچینگ کنترل شده ارائه شده است. این روش به بریکرهای جریان مستقل قطب‌عملیات و اندازه‌گیری ولتاژ فاز به زمین برای تعیین شار پسماند نیاز دارد. دو عملیات سوئیچینگ نیاز است: اولی به دو فازی که بالاترین مقدار شار پسماند را دارند، برق می‌دهد و دومی عملیات برق‌رسانی به دومین فاز را انجام می‌دهد. لحظات سوئیچینگ بهینه به صورت آنالیزی بدست می‌آیند.

لحظه اول t_0 که تابعی از شارهای پسماند است و دومین لحظه t_1 در لحظه زمانی است که همه شارهای واقعی به خوبی و همزمان شارهای پرسپکتیویشان را مطابقت می‌دهند. بنابراین، باعث کاهش جریان هجومی می‌شود. به منظور بررسی عملکرد روش ارائه شده یک پیش‌نمونه آزمایشی در حال توسعه است. نویسندگان قصد دارند که گزارشاتمی در این باره ارائه کنند.