PSC 2008
23rd International Power System Conference
بیست و سومین
کنفرانس بین المللی برق
98-F-TRN-1049

بررسی ظرفیت غیرقابل استفاده در ترانسفورماتورهای توزیع به دلیل عدم تعادل فازها در شبکه

مریم بهرامی پناه
Sm.hakimi@yahoo.com
محسن بهرامی پناه
M.Bahramipanah@Yahoo.com
دکتر محمد توکلی بینا
Mbp33182@yahoo.com
سید مهدی حکیمی
tavakoli@eetd.kntu.ac.ir
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
تهران- ایران

واژه‌های کلیدی: ظرفیت ترانسفورماتورهای توزیع, عدم تعادل, زوایای فاز, ماکزیمم ظرفیت ترانسفورماتور

چکیده

عدم تعادل در سیستم های قدرت یکی از مسائل اجتناب ناپذیر است که عمدتاً ناشی از وجود بارهای تکفاز در شبکه می باشد. این نامتعادلی تبعات منفی بسیاری را به دنبال دارد که از جمله آن افزایش تلفات حرارتی و کاهش راندمان تجهیزات سیستم های قدرت است . هدف این مقاله بررسی و مطالعه ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتورهای توزیع به دلیل عدم تعادل در شبکه می باشد.

در ابتدا به طور مختصر به دلایل عدم تعادل در ترانسفورماتورها می‌پردازیم و سپس ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتورهای توزیع فرمولبندی و مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرد و در آخر به معرفی سه پست توزیع در تهران می پردازد و توسط برنامه های نوشته شده در نرم افزار Matlab درصد عدم تعادل و همین‌طور مقدار ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتورهای توزیع به دو روش محاسبه و نمودارهای مربوطه رسم و مقایسه شده است و نتایج مربوطه ارائه می گردد.

۱- مقدمه

در سیستم های قدرت ولتاژ سه فاز تولید شده سینوسی با دامنه های یکسان و با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه برای هر فاز می باشد . با این وجود ولتاژ در خطوط توزیع و در باس های مصرف کننده ممکن است به چندین دلیل نامتعادل باشد. به طور عمومی بارهای تکفاز کوچک (بسته به سطح توان سیستم توزیع) باعث عدم تعادل در شبکه های قدرت می شوند .

عدم تعادل بار منجر به جاری شدن مؤلفه های توالی منفی و توالی صفر جریان (در صورت وجود سیم چهارم) در شبکه های قدرت می گردد.

بنابر آنچه گفته شد عدم تعادل در حالت کار عادی سیستم های قدرت یکی از مسائل اجتناب ناپذیر می باشد. عدم تعادل مشکلات و تبعات منفی بسیاری را بر تجهیزات متصل شده به شبکه به دنبال دارد . البته آثار منفی عدم تعادل علاوه بر تجهیزات، گریبان گیر خود سیستم قدرت نیز بوده و باعث

کاهش پایداری و همچنین افزایش تلفات و حرارت در سیستم نیز می گردد.

عدم تعادل ولتاژ ناچیز و تنها درحدود چند درصد می‌باشد که به طور مستقیم مشکل چندانی ایجاد نمی‌کند بلکه عدم تعادل جریان ناشی از آن است که مشکل ساز است. عدم تعادل تلفات بسیاری را بر سیستم متحمل می‌کند همچنین عدم تعادل باعث می‌شود که نتوان از ظرفیت ترانسفورماتورهای توزیع به طور بهینه استفاده کرد . این بدین معنی است که به دلیل عدم تعادل مقداری از ظرفیت در ترانسفورماتورهای توزیع بدون استفاده باقی می ماند. همین طور عدم تعادل ممکن است موجب اختلال در کل سیستم شود این بدان معنی است که ممکن است افزایش بیش از حد مجاز جریان یکی از فازها باعث عملکرد رله ها شده و کل سیستم را دچار مشکل کند.

در این مقاله به مطالعه و بررسی چگونگی غیر قابل استفاده شدن ظرفیت ترانسفورماتور و محاسبه مقدار ظرفیت غیر قابل استفاده و درصد آن در ترانسفورماتورهای توزیع پرداخته می‌شود و دو روش برای محاسبه درصد ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتورهای توزیع به صورت کاملاً تحقیقی ارائه می‌شود و نتایج به دست آمده در سه پست توزیع در منطقه شمال غرب تهران بررسی می‌گردد.

۲- عدم تعادل در ترانسفورماتورها

بخشی از ظرفیت ترانسفورماتور در اثر نامتعادلی بار غیر قابل استفاده می ماند که تا کنون کمتر به این موضوع توجه شده است. با رفع نامتعادلی، ترانسفورماتور می‌تواند از حداکثر ممکن ظرفیت خود استفاده کند که این به نوبه خود راندمان کل سیستم قدرت را بالا خواهد برد. در این قسمت به چگونگی قرار گرفتن ترانسفورماتور در وضعیت عدم تعادل می‌پردازیم و مشکلات ناشی از آن را بیان خواهیم کرد.

هرگاه صحبت از ظرفیت یک ترانسفورماتور شد منظور همان توان ظاهری آن است .

همان طور که گفته شد عدم تعادل ولتاژ ناچیز می‌باشد یعنی اختلاف اندازه ولتاژ فازها ناچیز و در حد چند ولت است اما اختلاف اندازه جریان سه فاز بسیار زیاد است و همین منجر می‌شود که توان ظاهری هر فاز که ضرب ولتاژ در جریان آن فاز می‌باشند با هم اختلاف زیادی پیدا کنند و موجب می‌شود که ترانسفورماتور موجود در یک پست توزیع در هر فاز دارای یک توان ظاهری متفاوت شود. پس ترانسفورماتور نیز دچار مشکل عدم تعادل خواهد شد. این مسئله منجر به بروز مشکلاتی می‌شود. عدم تعادل منجر به جاری شدن مؤلفه صفر و منفی در فازها می‌شود ، همچنین ممکن است در اثر افزایش بیش از حد جریان در یک فاز (بیش از حد جریان مجاز) رله های حرارتی عمل کنند و این ممکن است در حالی اتفاق بیفتد که مقدار جریان در فاز دیگر بسیار کمتر از ماکزیمم حد جریان مجاز باشد. پس به علّت نامتعادلی جریان و افزایش جریان یک فاز کل سیستم قطع خواهد شد.

مشکل دیگر این است که حتی اگر افزایش جریان یک فاز به قدری نباشد که رله ها عمل کنند، عدم تعادل جریان موجب خواهد شد که نتوان از تمام ظرفیت ممکن یک ترانسفورماتور استفاده نمود. در وضعیت متعادل توان ظاهری هر سه فاز با هم برابر می باشد پس ظرفیت ترانسفورماتور که برابر با جمع جبری توان‌های ظاهری هر فاز است برابر با سه برابر توان ظاهری یک فاز می شود. امّا در اثر عدم تعادل، توان ظاهری هر فاز با هم متفاوت می‌شود و مقدار ظرفیت ترانسفورماتور کمتر از وضعیت تعادل خواهد شد. پس می‌توان نتیجه گرفت در صورت عدم نامتعادلی می‌توانستیم ظرفیتی بیش از ظرفیت کنونی داشته باشیم .

بدین معنا که در وضعیت تعادل ماکزیمم ظرفیتی که یک ترانسفورماتور می‌تواند داشته باشد برابر ظرفیت آن فازی می‌باشد که ضرب ولتاژ در جریان آن بیش از دو فاز دیگر شود .

پس می توان نوشت :

$$ULT = 3 \times S_{max} \qquad (۱-۲)$$

که:

ULT = ماکزیمم ظرفیت ترانسفورماتور

S_{max} : ظرفیت آن فازی است که توان ظاهری آن از دو فاز دیگر بیشتر باشد .

همان طور که گفته شد به دلیل عدم تعادل نمی‌توانیم از تمام ظرفیت ترانسفورماتور استفاده کنیم . برای محاسبه مقدار این ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورمر و درصد آن چندین روش را می‌توان بکار برد . در بخش بعد به طور مفصّل به بررسی روش‌های مختلف محاسبه این مقدار ظرفیت غیر قابل استفاده می‌پردازیم .

۲-۱- روش اول

در این قسمت از یک روش تحلیلی برای محاسبه مقدار ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتورهای توزیع استفاده می کنیم .

برای به دست آوردن مقدار ظرفیتی از ترانسفورماتور که در اثر عدم تعادل غیر قابل استفاده می ماند ابتدا باید ظرفیت واقعی خود ترانسفورماتور را محاسبه کنیم .

برای محاسبه ظرفیت واقعی یک ترانسفورماتور موجود در یک پست که دچار عدم تعادل گشته است باید در مرحله‌ی اول مقادیر مؤثر ولتاژ و جریان‌های هر فاز را اندازه‌گیری کرده و توان ظاهری هر فاز را که ضرب ولتاژ در جریان آن فاز می‌باشد را محاسبه نمود. سپس برای محاسبه ظرفیتی که ترانسفورماتور در حالت عدم تعادل دارد باید توان‌های ظاهری هر سه فاز را با هم جمع نمود . این ظرفیت را با BLT نمایش می دهیم :

$$BLT = S_a + S_b + S_c \qquad (۲-۲)$$

که:

S_a و S_b و S_c به ترتیب ظرفیت فاز a ، b و c می باشند.

BLT = ظرفیت واقعی ترانسفورماتور

$$BLT = S_a + S_b + S_c = v_a \times i_a + v_b \times i_b + v_c \times i_c \qquad (۳-۲)$$

در مرحله بعدی برای محاسبه مقدار ظرفیت غیرقابل استفاده در ترانسفورماتور باید ماکزیمم ظرفیتی را که یک ترانسفورمر می‌تواند داشته باشد محاسبه گردد.

همان طور که می‌دانیم در حالت عدم تعادل ظرفیت فازهای شبکه به علّت جریان‌ها و ولتاژهای نامتعادل فازها با یکدیگر متفاوت می باشند. اگر فرض کنیم که هر سه فاز متعادل شود و ظرفیت هر سه فاز با آن فازی که ظرفیت بیشتری نسبت به دو فاز دیگر در وضعیت عدم تعادل داشته برابر شود آنگاه ظرفیت ترانسفورماتور بیشترین حالت ممکن را دارد پس ماکزیمم ظرفیتی که یک ترانسفورماتور می تواند داشته باشد برابر با سه برابر ظرفیت آن فازی است که توان ظاهری آن بیشتر از دو فاز دیگر باشد .

$$ULT = 3 \times S_{max} \qquad (۴-۲)$$

ULT =ماکزیمم ظرفیت ترانسفورماتور

اگر ظرفیت واقعی ترانسفورماتور (BLT) را ازماکزیمم ظرفیت آن (ULT) کم کنیم مقدار ظرفیتی که ترانسفورماتور به دلیل عدم تعادل در شبکه نتوانسته است استفاده کند به دست می‌آید. در صورت رفع کامل نامتعادلی می‌توان از این مقدار هدر رفته نیز استفاده نمود.

$(ULT - BLT)$= مقدار ظرفیت غیر قابل استفاده (۲-۵)

حال برای محاسبه درصد ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتورهای توزیع مقدار به دست آمده از تفاضل ماکزیمم ظرفیت و ظرفیت واقعی $(ULT - BLT)$ را باید بر مقداری تقسیم و در ۱۰۰ ضرب کنیم تا مقدار درصد ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانس به دست آید. در این روش این مقدار را همان ظرفیت واقعی ترانسفورماتور (BLT) در نظر می‌گیریم. استفاده از این تعریف برای نمایش مقدار درصد ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتورهای توزیع در سه پست توزیع از شبکه شمال غرب نتایج امیدوار کننده‌ای را به همراه داشته است. پس داریم :

$$O.C_1 = \frac{ULT - BLT}{BLT} \times 100 \qquad (۶-۲)$$

۲-۲- روش دوم

در این روش برای محاسبه درصد ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتورهای توزیع تقریباً مشابه روش قبل عمل کردیم با این تفاوت که مقدار ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتور که همان $(ULT - BLT)$ را به جای تقسیم بر مقدار ظرفیت واقعی ترانسفورمر بر ماکزیمم ظرفیت ترانسفورماتور (ULT) تقسیم و در ۱۰۰ ضرب می کنیم تا مقدار درصد ظرفیت هدر رفته در ترانس به دست آید:

$$O.C_2 = \frac{ULT - BLT}{ULT} \times 100 \qquad (۷-۲)$$

هر دو روش ذکر شده مقدار درصد ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتورهای توزیع به دلیل عدم تعادل در شبکه را می‌دهد . این نکته قابل ذکر است که مقدار عددی به دست آمده از این دو روش اندکی با هم متفاوت می باشند ولی هر دو ، روش های مناسبی برای انجام این محاسبات می‌باشند.

در قسمت بعد این دو روش را برای سه پست توزیع در شبکه شمال غرب تهران بکار بردیم و نتایج را ثبت نمودیم که بررسی می‌شود.

۳- بررسی نتایج بر روی سه پست توزیع در تهران

در این قسمت سه پست توزیع واقع در تهران را مورد بررسی قرار داده و مقدار درصد ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتورهای موجود در هر پست و درصد عدم تعادل از تعریف اصلاح شده IEEE را محاسبه خواهیم کرد و به تحلیل این موارد می پردازیم .

در این سه پست توزیع ۲۰KV/۴۰۰V از شبکه توزیع شمالغرب در طی ۹ روز و با فاصله زمانی ۱۸ دقیقه نمونه برداری هایی شامل مقدار مؤثر ولتاژها و جریان های فاز و ضرایب توان هر فاز را انجام دادیم.

در هر پست ابتدا باید عدم تعادل مشخص شود . بدین منظور با اطلاعات داده شده ابتدا زاویه فاز محاسبه می گردد . برای دستیابی به این هدف برنامه Mfile ای در نرم‌افزار Matlab نوشته شد و زاویه فازها محاسبه شده است.

با گسترش سیستم های قدرت اهمیت پدیده عدم تعادل و کنترل آن ها نیز دوچندان شده است. این فرایند باعث شد که مهندسین با دید تخصصی‌تری به مسأله عدم تعادل نگریسته و استانداردهایی جهت سنجش عدم تعادل مطرح کنند. تاکنون تعاریف مختلفی ازعدم تعادل دریک سیستم سه فاز ارائه شده‌اند، این تعاریف متفاوت می‌توانند به نتایج بسیار مختلفی در محاسبهٔ عدم تعادل منجر شوند. در اینجا ما برای محاسبه عدم تعادل ، بر اساس تعریف اصلاح شده[1] IEEE در سال ۱۹۹۶ که نسبت بین اندازه مؤثر مؤلفه منفی ولتاژ خط به اندازه مؤثر مؤلفه مثبت در نظر گرفته می‌شود استفاده می‌کنیم:

$$\%VUF = \frac{V2}{V1} \times 100 \qquad (۱-۳)$$

در این تعریف جایی برای مؤلفه صفر ولتاژ در نظر گرفته نشده‌است. بکارگیری این تعریف در سیستم های سه‌فاز سه سیمه و بصورت کلی‌تر در سیستم های فاقد مؤلفه صفر می‌تواند معیار خوبی برای نمایش عدم تعادل باشد. ولی باید به این نکته توجه شود که این تعریف برای کلیه سیستم‌های سه‌فاز (چه سه‌سیمه و چه چهارسیمه) ارائه گردیده‌است و یکی از عوامل ایجاد عدم تعادل در سیستم های سه‌فاز چهار سیمه، همانا مؤلفه صفر می باشد. حال این سوال مطرح می‌شود که "آیا واقعا صحیح است که از اثر مؤلفه صفر ولتاژ در محاسبه عدم تعادل چشمپوشی شود؟". مسلماً پاسخ به این پرسش "نه" می باشد! و این موضوع نقطه ضعف این تعریف می‌باشد.

در چهار استاندار عمده ارائه شده توسط NEMA و IEEE از اثر مؤلفه صفر چشمپوشی شده است. در [۱] ، [۲] و [۳] به طور مفصل به بررسی استانداردهای موجود برای محاسبه عدم تعادل پرداخته و اثر چشمپوشی از مؤلفه صفر ولتاژ را بررسی کرده است .

در این مقاله برای محاسبه عدم تعادل از تعریف اصلاح شده عدم تعادلIEEE استفاده شده است .

بدین منظور باید مقادیر مؤلفه های مثبت و منفی را داشته باشیم. همانطور که می دانیم توسط معادله ماتریسی زیر می توان این مقادیر را به دست آورد:

$$\begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V0 \\ V1 \\ V2 \end{bmatrix} \qquad (۲-۳)$$

$$V1 = \frac{Va + a \times Vb + a^2 \times Vc}{3} \qquad (۳-۳)$$

$$V2 = \frac{Va + a^2 \times Vb + a \times Vc}{3}$$

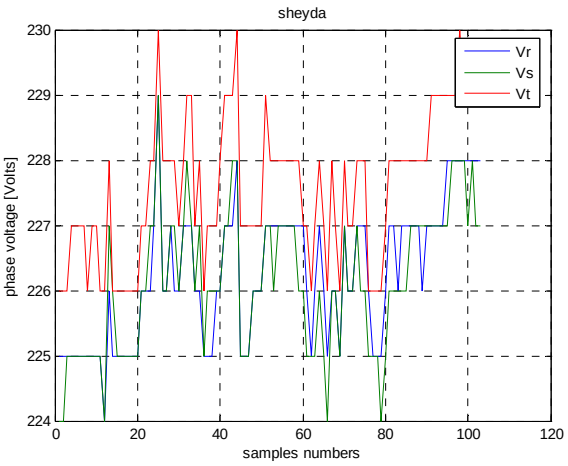
برای به دست آوردن این مؤلفه ها نیز برنامه ای در نرم افزار Matlab نوشته و با توجه به فرمول (۳-۱) درصد نامتعادلی محاسبه شود و نمودارهای مربوطه بر حسب زمان های نمونه برداری در هر پست رسم گردیده است . سپس برای هر پست مقدار ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتورهای توزیع از روابط (۲-۷) و (۲-۶) محاسبه می شود و نمودارهای مربوطه رسم می‌گردد.

1- True Definition

۳-۱- پست شیدا

در پست شیدا در طی روز با فواصل زمانی ۱۸ دقیقه ، ۱۰۳ نمونه برداری از مقادیر مؤثر ولتاژها و جریان های فاز و ضرایب توان هر فاز انجام گرفت . اطلاعات ورودی را بر حسب زمان های نمونه برداری شده رسم کرده نتایج زیر به دست می‌آیند.

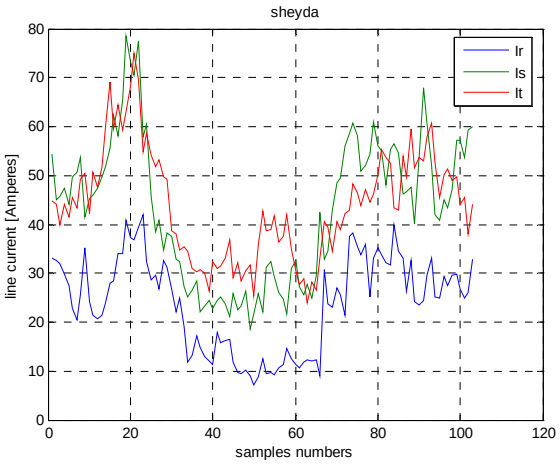
۳-۱-۱- نمودار ولتاژهای مؤثر برحسب زمان‌های نمونه برداری



شکل۳-۱-۱ نمودار ولتاژ مؤثر پست شیدا

همان طور که از نمودار فوق مشخص است محدوده ولتاژها بین ۲۲۴ تا ۲۳۰ ولت می باشد که اختلاف ناچیزی دارند و این تصدیق کننده این مطلب است که عدم تعادل ولتاژ ناچیز و در حد چند ولت می باشد.

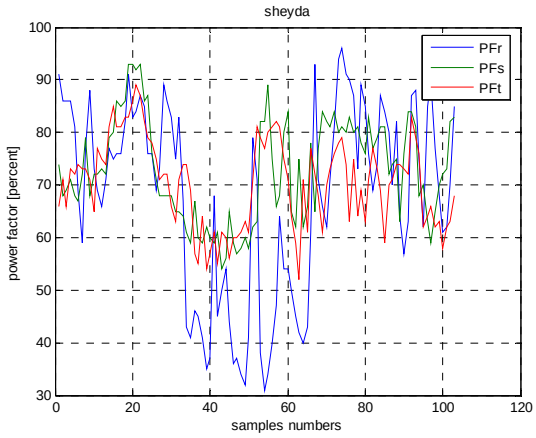
۳-۱-۲- نمودار جریان‌های مؤثر هر فاز برحسب زمان-های نمونه برداری



شکل۳-۱-۲ نمودار جریان‌های مؤثر فاز پست شیدا

همان طور که از نمودار فوق پیدا است اختلاف مقادیر مؤثر جریان های هر فاز بسیار زیاد می‌باشد و همین امر منجر به ایجاد نامتعادلی در ترانسفورماتور خواهد شد. این نمودار نیز این نکته را تصدیق می‌کند که آنچه دردسر ساز است عدم تعادل جریان می باشد که بر خلاف عدم تعادل ولتاژ زیاد می‌باشد.

۳-۱-۳- نمودارضریب‌توان‌هرفازبرحسب‌زمان‌های‌نمونه برداری

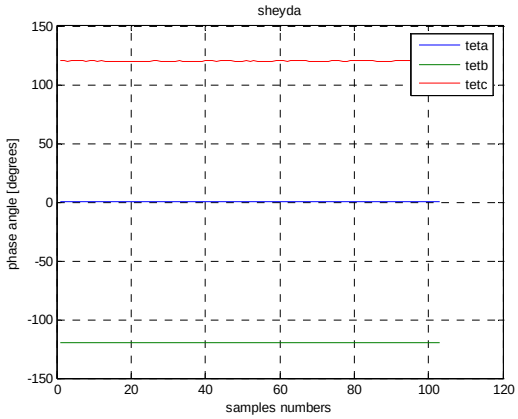


شکل۳-۱-۳ نمودار ضریب توان هر فاز در پست شیدا

همان طور که دیده می شود ضرایب توان نیز دارای نوسان می‌باشند و نامتعادل هستند.

۳-۱-۴- نمودار زوایای فاز برحسب زمان‌های نمونه برداری

همان طور که گفته شد برای محاسبه درصد نامتعادلی نیاز به داشتن زوایای هر فاز داریم که توسط برنامه نوشته شده این زوایا به دست آمد و نتایج آن به صورت نمودار زیر قابل مشاهده می‌باشد :

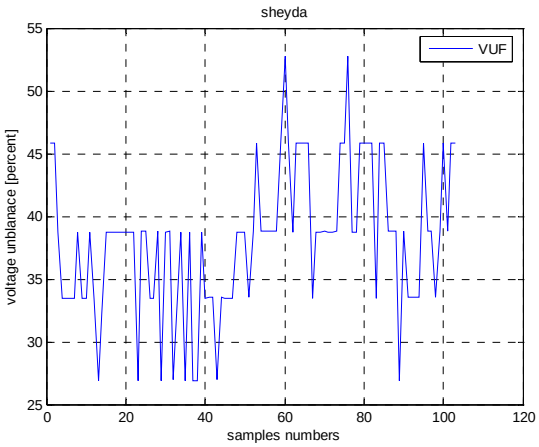


شکل۳-۱-۴ نمودار زوایای فاز پست شیدا

همان طور که از نمودار فوق مشخص است زوایا فاز تغییر زیادی پیدا نمی‌کنند.

۳-۱-۵- نمودار درصد نامتعادلی برحسب زمان‌های نمونه برداری

توسط برنامه نوشته شده در نرم افزار Matlab، درصد نامتعادلی (VUF) که بر اساس تعریف اصلاح شده IEEE می‌باشد در این پست محاسبه شد و نمودار مربوطه برحسب زمان های نمونه برداری رسم گردید . نتیجه در زیر قابل مشاهده می‌باشد :



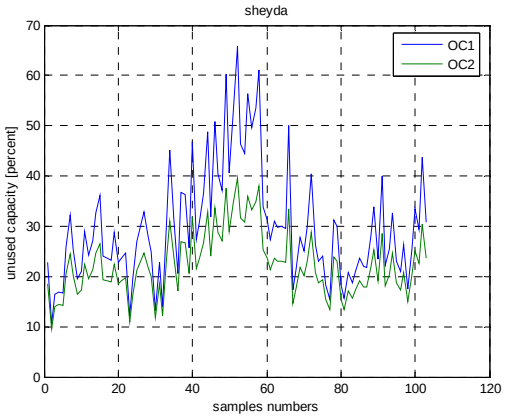
شکل۳-۱-۵ نمودار درصد نامتعادلی در پست شیدا

همان طور که از نمودار فوق دیده می‌شود پست شیدا از نامتعادلی بین تقریباً ۲۵ تا ۵۵ درصد رنج می‌برد .

اگر در نمودار فوق دقت کنیم خواهیم دید که در ۶۰ امین نمونه برداری (در دقیقه ۱۰۸۰) ، این پست دچار عدم تعادل شدیدی در حدود ۵۲ درصد شده است که این ممکن است به علّت خطاهای گذرا بوده باشد. همان طور که دیده می شود در نمونه برداری بعدی این عدم تعادل به طرز چشمگیری کاهش پیدا کرد(۳۳ درصد) .

۳-۱-۶- نمودار درصد ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتور برحسب زمان‌های نمونه برداری

همان طور که گفته شد دو روش برای محاسبه درصد ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتورها وجود دارد که نتایج آنها اندکی با هم متفاوت می باشند. برای این پست نیز برنامه ای برای محاسبه این مقادیر نوشته شد و نمودار مربوطه رسم گردید .



شکل۳-۱-۶ نمودار درصد ظرفیت غیرقابل استفاده در ترانسفورماتوهای پست شیدا

همان طور که از نمودار فوق دیده می شود مقادیر OC1 با OC2 با هم متفاوت می باشند ولی هر دو نمودار به یک صورت و با یک ضریب زاویه افزایش و کاهش این مقادیر را نشان می دهند . درصد نامتعادلی با تعریف OC1 تقریباً بین ۱۰ تا ۶۵ درصد و با تعریف OC2 بین ۱۰ تا۴۰ درصد می-باشند. با قدری تأمل در نمودار فوق دریافت می شود که لحظه ۵۲ امین نمونه برداری زمانی است که ترانسفورماتور نتوانسته است از ۶۵ درصد ظرفیت خود استفاده کند(بر اساس تعریف OC1) که این مقدار زیادی می باشد . در این پست در بهترین حالت نیز ترانسفورماتور نمی تواند حداقل از ۱۰ درصد ظرفیت خود استفاده کند.

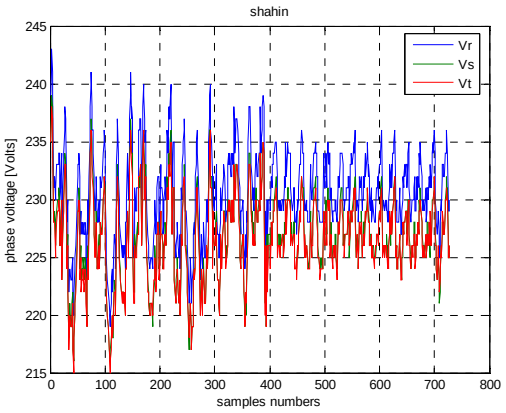
۳-۲- پست شاهین

در پست شاهین در طی ۹ روز و با فواصل زمانی ۱۸ دقیقه ، ۷۲۸ نمونه برداری از مقادیر مؤثر ولتاژها و جریان های فاز و ضرایب توان هر فاز انجام گرفت .

اطلاعات ورودی را اگر بر حسب زمان های نمونه برداری شده رسم کنیم نتایج زیر به دست می‌آیند

۳-۲-۱- نمودار ولتاژهای مؤثر برحسب زمان‌های نمونه برداری

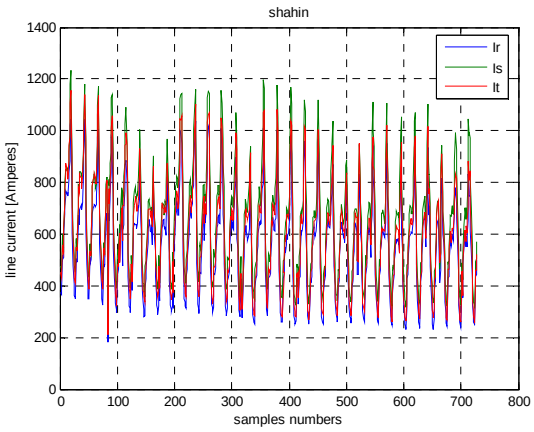
اگر نمودار ولتاژها را رسم کنیم می بینیم که در پست شاهین عدم تعادل ولتاژ بیشتر از پست شیدا می‌باشد و ولتاژها تقریباً بین ۲۱۵ تا ۲۴۵ ولت تغییر می‌کنند . همین امر موجب شده است که این پست از عدم تعادل بسیار شدیدی رنج ببرد.



شکل۳-۲-۱ نمودار ولتاژ مؤثر پست شاهین

۳-۲-۲- نمودار جریان‌های مؤثر هر فاز برحسب زمان‌های نمونه برداری

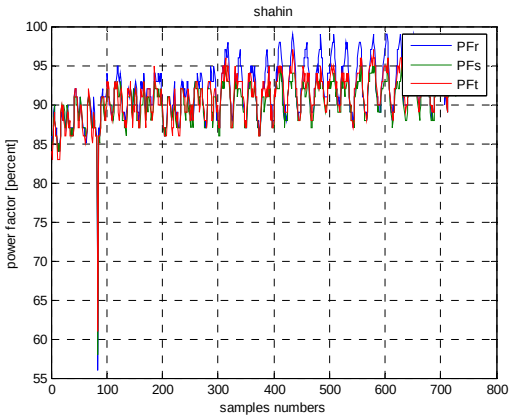
با رسم این نمودار به صورت زیر در می یابیم که عدم تعادل جریان به تبع عدم تعادل ولتاژ بسیار زیاد در این پست بسیار شدید می‌باشد . اختلاف بین جریان های فاز بسیار زیاد می‌باشد .



شکل۳-۲-۲ نمودار جریان‌های مؤثر فاز پست شاهین

۳-۲-۳- نمودار ضریب توان هر فاز برحسب زمان‌های نمونه برداری

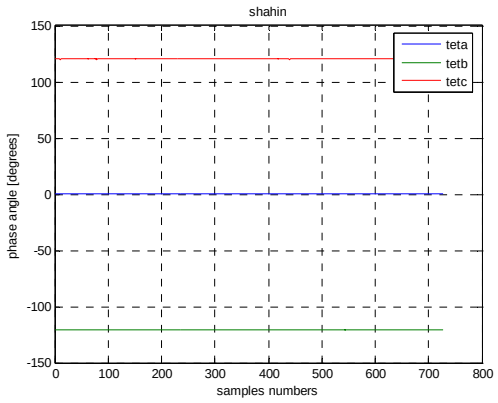
اگر نمودار ضرایب توان را بر حسب زمان های نمونه برداری رسم کنیم , نمودار زیر به دست می‌آید. همان طور که دیده می‌شود ضرایب توان نیز دارای نوسان می‌باشند و نامتعادل هستند ولی نوسان ضرایب توان در این پست کمتر از پست شیدا است.



شکل۳-۲-۳ نمودار ضریب توان هر فاز در پست شاهین

۳-۲-۴- نمودار زوایای فاز برحسب زمان‌های نمونه برداری

همان طور که گفته شد برای محاسبه درصد عدم تعادل نیاز به محاسبه زوایای فاز داریم . نتایج این محاسبات در نمودار زیر قابل رؤیت می باشد .

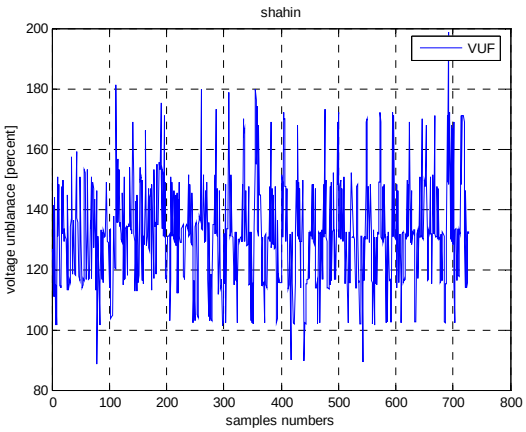


شکل۳-۲-۴ نمودار زوایای فاز پست شاهین

۳-۲-۵- نمودارردصد نامتعادلی برحسب زمان‌های نمونه برداری

با محاسبه درصد عدم تعادل (VUF) و رسم آن نمودار زیر به دست می آید . نامتعادلی در این پست بسیار شدید است و حتی ۲۰۰ درصد نامتعادلی در لحظه نمونه برداری ۶۷۸ ام ثبت گردیده است . پست شاهین یکی از پر مصرف ترین پست های موجود در تهران می باشد و به همین علّت از نامتعادلی زیادی رنج می‌برد . همان طور که در نمودار و

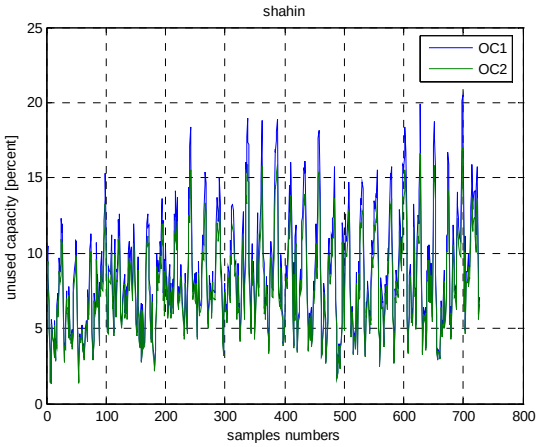
جدول زیر دیده می‌شود ،در زمان هایی نامتعادلی به طرز چشمگیری ناگهان افزایش و سپس کاهش می‌یابد ، مانند نمونه برداری های ۱۲۰ ، ۳۱۰، ۶۷۸ و... ، این ممکن است به دلیل خطاهای گذرا رخ داده باشد.



شکل۳-۲-۵ نمودار درصد نامتعادلی در پست شاهین

۳-۲-۶- نمودار درصد ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتور برحسب زمان‌های نمونه برداری

نمودارهای OC1 و OC2 بر حسب زمان های نمونه برداری به صورت زیر می باشند.



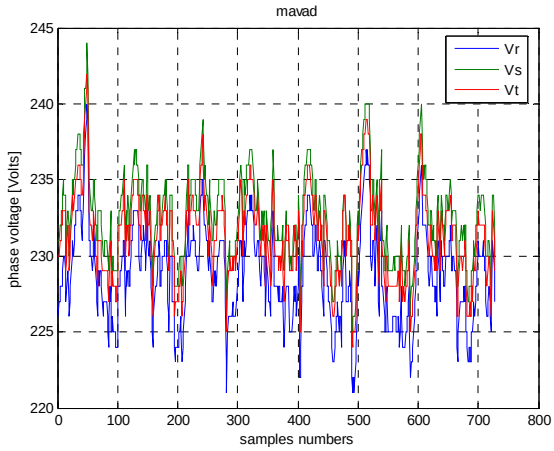
شکل۳-۲-۶ نمودار درصد ظرفیت غیرقابل استفاده در ترانسفورماتوهای پست شاهین

ترانسفورماتور موجود در این پست تقریباً از۱۵ تا ۲۰ درصد ظرفیت خود نمی تواند استفاده کند.

۳-۳- پست مواد

در پست مواد نیز همانند پست شاهین در طی ۹ روز با فواصل زمانی ۱۸ دقیقه ، ۷۲۸ نمونه برداری از مقادیر مؤثر ولتاژها و جریان های فاز و ضرایب توان هر فاز انجام گرفت و ثبت گردید اطلاعات ورودی را اگر بر حسب زمان های نمونه برداری شده رسم کنیم نتایج زیر به دست می‌آیند :

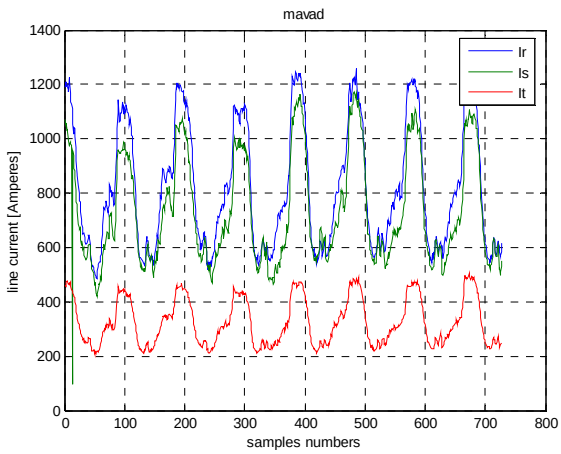
۳-۳-۱- نمودار ولتاژهای مؤثر برحسب زمان‌های نمونه برداری



شکل۳-۳-۱ نمودار ولتاژ مؤثر پست مواد

همان طور که از نمودار فوق مشخص است محدوده ولتاژها بین ۲۲۰ تا ۲۴۵ ولت می باشد که اختلاف ناچیزی دارند و این تصدیق کننده این مطلب است که عدم تعادل ولتاژ ناچیز و در حد چند ولت می باشد.

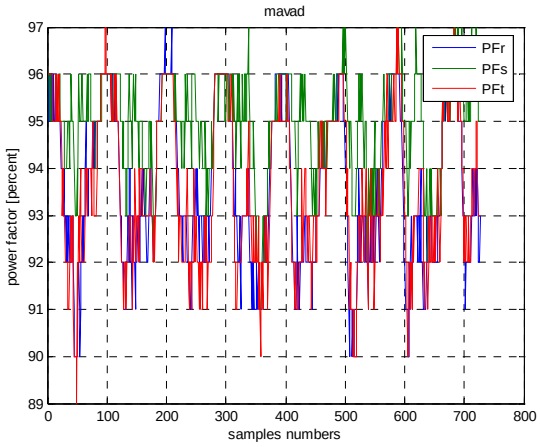
۳-۳-۲- نمودار جریان‌های مؤثر هر فاز برحسب زمان‌های نمونه برداری



شکل ۳-۳-۲ نمودار جریان‌های مؤثر فاز پست مواد

همان طور که از نمودار فوق پیدا است اختلاف مقادیر مؤثر جریان های هر فاز بسیار زیاد می باشد و همین امر منجر به ایجاد نامتعادلی خواهد شد.

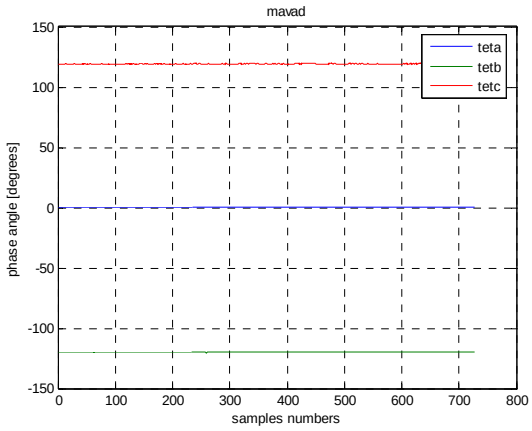
۳-۳-۳ نمودار ضریب توان هر فاز برحسب زمان‌های نمونه برداری



شکل۳-۳-۳ نمودار ضریب توان هر فاز در پست مواد

اگر نمودار ضرایب توان را بر حسب زمان های نمونه برداری رسم کنیم , نمودار فوق به دست می‌آید. همان طور که دیده می شود ضرایب توان نیز دارای نوسان می باشند و نامتعادل هستند. در پست مواد این نوسانات بسیار زیاد می باشد.

۳-۳-۴- نمودار زوایای فاز برحسب زمان‌های نمونه‌برداری

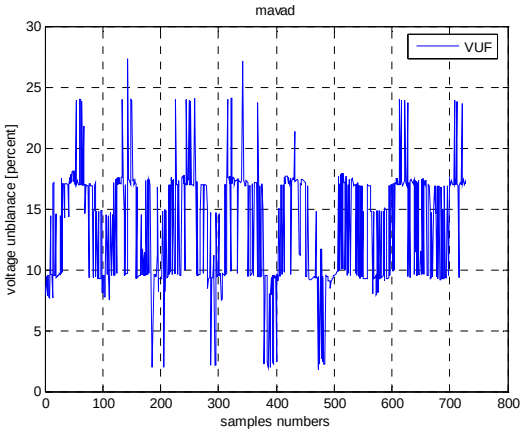


شکل۳-۳-۴ نمودار زوایای فاز پست مواد

همان طور که از نمودار فوق مشخص است زوایا فاز در این پست نیز تغییر زیادی پیدا نمی کنند.

۳-۳-۵- نمودارِدرصد نامتعادلی برحسب زمان‌های نمونه برداری

توسط برنامه نوشته شده در نرم افزار Matlab درصد نامتعادلی (VUF) در این پست محاسبه شد و نمودار مربوطه برحسب زمان های نمونه برداری رسم گردید . نتیجه در زیر قابل مشاهده می باشد :

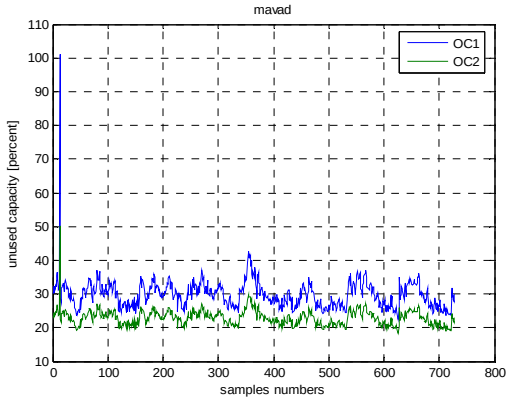


شکل۳-۳-۵ نمودار درصد نامتعادلی در پست مواد

اگر در نمودار فوق دقت کنیم خواهیم دید که در بعضی اوقات نامتعادلی بسیار پایین می باشد و در حد ۳ درصد است که درصد قابل قبولی می‌باشد .

۳-۳-۶- نمودار درصد ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورماتور برحسب زمان‌های نمونه برداری

همان طور که گفته شد از دو روش درصد ظرفیت غیرقابل استفاده محاسبه می‌شود که نتایج آنها اندکی با هم متفاوت است .



شکل۳-۳-۶ نمودار درصد ظرفیت غیرقابل استفاده در ترانسفورماتوهای پست مواد

همان طور که از نمودار فوق دیده می شود مقادیر OC1 با OC2 با هم متفاوت می باشند ولی هر دو نمودار به یک صورت و با یک ضریب زاویه افزایش و کاهش این مقادیر را نشان می دهند . با یک نگاه در نمودار فوق دریافت می شود که لحظه ۱۱ امین نمونه برداری زمانی است که ترانسفورماتور نتوانسته است از ۱۰۱ درصد ظرفیت خود استفاده کند(بر اساس تعریف OC1) که این مقدار زیادی است . در این پست در بهترین حالت نیز ترانسفورماتور نمی تواند حداقل از ۱۸ درصد ظرفیت خود استفاده کند ! ولی در کل ظرفیت ترانس موجود در این پست تقریباً بین ۲۰ تا ۴۰ درصد بدون استفاده می‌ماند.

۴- تحلیل و نتیجه‌گیری

نامتعادلی بار در شبکه های توزیع نه تنها موجب افزایش تلفات انرژی است بلکه از لحاظ افت ولتاژ نیز اثرات نامطلوبی روی مصرف کنندگان خواهد داشت همین طور از نظر ایمنی نیز جریان داشتن سیم خطر آفرین بوده و صدمات جانبی برای انسان در بر دارد. از طرفی اثرات مالی زیان باری که از این طریق بر وزارت نیرو و زیر مجموعه ی آن تحمیل می گردد قابل تعمق است.

همان طور که گفته شد عدم تعادل در سیستم های قدرت باعث افزایش تلفات حرارتی و کاهش راندمان تجهیزات سیستم های قدرت می شود. علاوه بر این ممکن است در عملکرد صحیح برخی تجهیزات اختلال ایجاد نماید. در مورد ظرفیت ترانسفورماتورها همان طور که مشاهده شد می توان گفت که عدم تعادل فازها موجب می شود که نتوان از تمام ظرفیت ترانسفورماتور استفاده نمود و درصدی از این ظرفیت بدون استفاده می ماند.

همان طور که از نتایج و نمودارهای فوق نیز مشخص است درصد عدم تعادل و مقدار ظرفیت غیر قابل استفاده در ترانسفورمر های توزیع به دلیل عدم تعادل جریان بسیار بالا می‌باشد. پس باید تدابیری اندیشیده شود تا مقدار این نامتعادلی کاهش یابد تا بتوان از ظرفیت ترانسفورماتورها به طور بهینه تری استفاده نمود .

در صورت بالا بودن درصد عدم نا متعادلی ، ممکن است هسته ترانسفورماتور به اشباع برود و ترانس داغ کند . همین طور اگر یک فاز دارای جریان زیادتری نسبت به فازهای دیگر باشد ، این جریان ممکن است باعث عملکرد رله های مربوطه شده و جریان فاز را قطع کند، که این خود صدمات دیگری به سیستم وارد خواهد کرد. پس برای جلوگیری از این نامتعادلی و تبعات ناشی از آن باید این عدم تعادل جبران گردد . روش های مختلفی برای جبرانسازی عدم تعادل ولتاژ و به دنبال آن عدم تعادل جریان وجود دارد که توضیح مفصل این روش ها در حیطه این مقاله نمی‌باشد ولی به طور مختصر می‌توان گفت جهت رفع مشکلات ناشی از عدم تعادل در مرتبه اول ضروری است شبکه های قدرت به گونه ای طراحی شود که بار به صورت یکنواخت میان هر سه فاز توزیع شود. در مرتبه دوم می توان از برخی ادوات الکترونیک قدرت که به صورت سری یا موازی با شبکه نصب می شوند برای اصلاح عدم تعادل و کنترل آن در محدوده قابل قبولی استفاده نمود.

۵- مراجع

[1] M.H.J. Bollen, "Definitions of Voltage Unbalance", IEEE Power Engineering Review, November 2002,pp.49-50.

[2] P. Pillay, M. Manyage, "Definitions of Voltage Unbalance", IEEE Power Engineering Review, May 2001,pp.50-51.

[3] "Eliminate Voltage Unbalance", Office of industrial technologies. Energy efficiency and renewable energy. U.S. Department of energy, Motor Tip Sheet #2. January 2000.

[4] copper Development Association , IEEE Endorsed Provider ,T.H Chen and H.Y.Kuo , Network Modelling of Traction Substation Transformer for Studing Unbalance effects

[5] Power System Analysis C.A.Gross

[6] M.H.J. Bollen, "Definitions of Voltage Unbalance", IEEE Power Engineering Review, November 2002,pp.49-50.

[۷] پ. س. بیم بهارا، "ماشینهای الکتریکی (تئوری، عملکرد و کاربردها)"، ترجمه: جعفر سلطانی، حمید لسانی، تهران، ارمغان هنر، ۱۳۸