

# SID



ابزارهای  
پژوهش



سرویس ترجمه  
تخصصی



کارگاه های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری  
STES



فیلم های  
آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقالات ISI

آموزش مهارت های کاربردی  
در تدوین و چاپ مقالات ISI



روش تحقیق کمی

روش تحقیق کمی



آموزش نرم افزار Word برای پژوهشگران

آموزش نرم افزار Word  
برای پژوهشگران

## آنالیز ولتاژهای شفت و جریان های عبوری از یاتاقان ها در ژنراتورها- مدل سازی و ارائه راهکار

رضا کاظمی گل خندان<sup>(۱)</sup>، رامین کاظمی<sup>(۲)</sup>

۱. دانشکده فنی و حرفه‌ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران

۲. دانشگاه صنعتی سجاد، مشهد، ایران

### چکیده

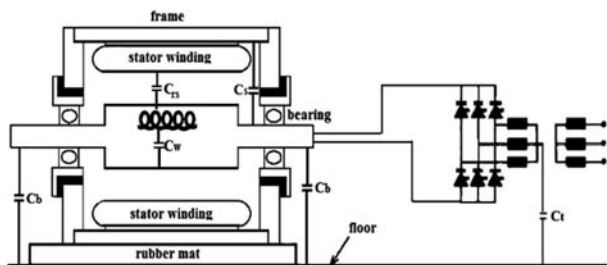
بررسی پیاده سازی شده است. به منظور بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی ها و کارآمدی فیلتر طراحی شده، تست های عملی از واحدهای نیروگاهی زیرمجموعه شرکت مادر تخصصی مینا به عمل آمده و حاصل آن در مقاله آورده شده است.

کلید واژه- جریان یاتاقان، سیستم تحریک استاتیک، فیلتر پسیو، ولتاژ شفت

### ۱- مقدمه

یکی از اثراتی که به واسطه غیر ایده‌ال بودن المان‌ها و طبیعت چرخشی رتور ژنراتورها به وجود می‌آید پدیده ولتاژهای شفت است [۲]-[۱]. بازه تغییر مقادیر مربوط به این ولتاژ از میکرو ولت تا صدها ولت می‌باشد. مقادیر کوچک ولتاژهای شفت مربوط به چرخش شفت در میدان مغناطیسی زمین و یا القای سیگنال‌های الکترومغناطیسی و مقادیر بزرگ آن ناشی از کلیدزنی ادوات الکترونیک قدرت می‌باشند [۳]. مکانیزم تولید وانتقال ولتاژهای شفت ایجاد شده به واسطه میدان مغناطیسی زمین و یا القای سیگنال‌های الکترومغناطیسی، که دارای مقادیر پایینی می‌باشند، تقریباً شناخته شده بوده و در این مقاله مورد بررسی قرار نگرفته است. ولتاژهای خارجی که از طریق سیستم های تحریک استاتیک به سیم پیچ های رتور اعمال می شوند یکی از منابع مهم تولید ولتاژهای شفت با مقادیر قابل ملاحظه ای می باشند. ولتاژهای شفت و جریان های عبوری از یاتاقان‌ها

ولتاژهای شفت از جمله پدیده‌هایی می باشند که در ماشین های دوار وجود دارند و منابع متفاوتی به نسبت‌های مختلف در به وجود آوردن این ولتاژها سهیم هستند. اگر مقدار ولتاژ شفت از سطح ولتاژ شکست دی‌الکتریک مربوط به لایه روغن موجود در یاتاقان‌ها فراتر رود، جریان دشارژی از آنها عبور خواهد کرد که این جریان منجر به وارد شدن صدمه‌های شدیدی به روغن یاتاقان ها و ایجاد حباب در آن ها می گردد. به منظور بررسی پدیده ولتاژهای شفت، مدل‌سازی دقیق سیستم مورد مطالعه ضروری است. در گام نخست در این مقاله مدل گسترده ای جهت بررسی ولتاژهای شفت و جریان های عبوری از یاتاقان ها، که در نتیجه اثر سیستم های تحریک استاتیک در تربوژنراتورها ایجاد می شوند، استخراج شده است. در گام بعدی راهکارهای موجود جهت مقابله با این ولتاژهای ناخواسته بررسی شده اند و پس از آن یکی از راهکارهای مقابله با ولتاژ شفت که عبارتست از نصب فیلتر پسیو در خروجی یکسوکنده سیستم تحریک، پیشنهاد و به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. راهکار پیشنهادی روی مدل ارائه شده از سیستم پیاده سازی شده است. مدل استخراج شده از سیستم به همراه راهکار ارائه شده، در *MATLAB/SIMULINK* شبیه‌سازی شده‌اند و نتایج به دست آمده مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند. راهکار پیشنهادی به صورت نمونه بر روی واحد نیروگاهی مورد



شکل ۱. شمایی از تولید و انتقال ولتاژهای شفت به واسطه سیستم های تحریک استاتیک در ژنراتور ولتاژها در این سیستم به سه دسته کلی تقسیم می شوند:

- ۱- ولتاژ سه فاز که از پایه های ژنراتور گرفته می شود و بعد از عبور از ترانس تحریک به ورودی AC یکسوساز اعمال می گردد. فرکانس این ولتاژ همان فرکانس اصلی سیستم قدرت است. این ولتاژ نقش تغذیه سیستم تحریک را ایفا می کند.
  - ۲- ولتاژ DC که بین پایه های مثبت و منفی در خروجی یکسوساز ایجاد می شود. این ولتاژ متشکل از شش پیک دندانهای در هر پرپود است. فرکانس اصلی این نوسانات شش برابر فرکانس اصلی سیستم می باشد.
  - ۳- ولتاژ مد مشترک (Common Mode Voltage) که در نتیجه کلیدزنی یکسوساز تولید می شود. این ولتاژ دارای شکل موجی مثلثی با فرکانسی معادل با سه برابر فرکانس اصلی سیستم است. در حین کموناسیون، پله های ولتاژ با شیب تند نیز روی این ولتاژ قرار می گیرند.
- تحت شرایط متقارن، فقط ولتاژ مد مشترک به وجود آورنده ولتاژ شفت می باشد ولی در شرایط نامتقارن علاوه بر ولتاژ مد مشترک، ولتاژ DC دندانهای هم در ایجاد ولتاژ شفت شرکت می کند [۵]. در فرکانس های پایین و مدار تحریک متقارن، رابطه ولتاژ شفت با ولتاژ حالت مشترک به صورت رابطه (۱) می باشد. در این رابطه  $C_t$  نشان دهنده ظرفیت خازنی ترانس تحریک [۶] نسبت به زمین،  $C_w$  نشان دهنده ظرفیت خازنی بین سیم پیچی تحریک و شفت و  $C_s$  بیانگر ظرفیت خازنی شفت نسبت به فریم زمین شده می باشد.

$$V_s = \frac{C_\omega C_t}{C_\omega C_t + C_s C_t + C_s C_\omega} V_c \quad (1)$$

از جمله پارامترهای غیرقابل صرف نظر در ماشین های دوار هستند. اگر مقدار ولتاژ شفت از سطح ولتاژ شکست دی-الکتریک مربوط به لایه روغن موجود در یاتاقانها فراتر رود، جریان دشارژی از یاتاقانها عبور خواهد کرد که این جریان منجر به وارد شدن صدمه های شدیدی به روغن یاتاقان و ایجاد حباب در آن ها می گردد [۴]. به منظور پیش بینی مشکلات ناشی از ولتاژهای شفت و جریان یاتاقانها، استخراج مدل مداری سیستم ضروری است. مدل های مختلفی به منظور بررسی پدیده ولتاژهای شفت مطرح شده اند که هر یک دارای مزایا و معایب خود می باشند [۳]. در مدل گسترده مستخرج شده در این مقاله تمامی کپلینگ ها و مسیرهای مربوط به مولفه های فرکانس بالا در بین دورهای مجاور سیم پیچی تحریک، دورهای سیم پیچی تحریک و رتور و همچنین دورهای سیم پیچی تحریک و استاتور در نظر گرفته و مدل سازی شده اند. در این مقاله به صورت خاص مدل گسترده ژنراتور با مشخصات 200MVA-ANSALDO-TY 10546 به منظور انجام بررسی های مربوط به ولتاژهای شفت و جریان یاتاقانها استخراج شده است. این ژنراتور ساخت شرکت ANSALDO می باشد. توان نامی آن 200 MVA و ولتاژ خروجی آن 15.75 KV است. این ژنراتورها توسط شرکت مپنا تحت نام ژنراتورهای طرح نیم در سایت های نیروگاهی این شرکت بکار گرفته شده اند. به منظور مقابله با ولتاژهای شفت و جریان یاتاقانها تاکنون راهکارهای متعددی پیشنهاد گردیده است. یکی از این راهکارها استفاده از فیلتر پسیو در خروجی یکسوکننده مربوط به سیستم تحریک است که در این مقاله به تفصیل بررسی شده است. به منظور بررسی صحت نتایج حاصل از شبیه سازی ها، تست های عملی از واحدهای در حال کار به عمل آمده و در مقاله آورده شده است.

## ۲- آنالیز ولتاژهای شفت

### ۲-۱ نحوه تولید و انتقال ولتاژهای شفت

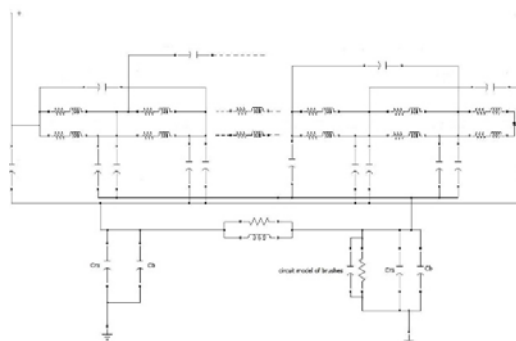
شمای کلی از سیستم تولید و انتقال ولتاژهای شفت به واسطه وجود سیستم های تحریک استاتیک در ژنراتورها در شکل ۱ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می شود اجزای تشکیل دهنده آن عبارتند از:

ترانسفورماتور تحریک، یکسوساز سیستم تحریک استاتیک، سیم پیچی تحریک، یاتاقانها، شفت، جاروبکها، بدنه ژنراتور

## ۲-۲- مدل‌سازی سیستم به صورت گسترده

مدل ارائه شده در این مقاله که در شکل ۲ آورده شده است جهت بررسی ولتاژهای شفت با مدل‌سازی گسترده سیم پیچی های میدان، شفت و کلیه مسیرهای عبور جریان یاتاقان ها بکار گرفته می شود. با توجه به شکل ۲ مشاهده می شود که تمامی مسیرهای پارازیتی که باعث ایجاد ولتاژهای شفت و عبور جریان های یاتاقان ها می شوند مد نظر قرار گرفته شده اند و مدل مداری هر یک از پارامترها به صورت گسترده در مدل استخراج شده آمده است. شفت ژنراتور توسط یک مدار RL مدل‌سازی شده است که بیانگر عملکرد وابسته به فرکانس آن می باشد. یاتاقان ها از نوع صفحه ای می باشند که لایه نازکی از روغن بین دو صفحه قرار گرفته است. با توجه به وجود این لایه نازک روغن، امپدانس یاتاقان ها به صورت خازنی می شود. با در نظر گرفتن جنس و ابعاد یاتاقان ها می توان مقدار امپدانس آنرا محاسبه کرد. مدل سازی اثر پوستی سیم پیچی های میدان که در فرکانس های بالا خود را نشان می دهند هم در مدل استخراج شده مدنظر قرار گرفته شده است و مدل نردبانی آن آورده شده است [۷]. ظرفیت های خازن های پارازیتی بین دوره های سیم پیچی میدان که در فرکانس های بالا خود را نشان می دهند و باعث عبور مولفه های جریان فرکانس بالا می شوند در مدل آورده شده اند. این ظرفیت های خازنی هم مربوط به دو دور مجاور و هم مربوط به دو دور با یک فاصله می باشند که مقادیر آنها بدست آورده شده اند.

پارامتر  $C_{TS}$  که در مدل استخراجی آورده شده بیانگر ظرفیت خازنی کوپلاژ بین رتور و استاتور می باشد. این پارامتر با استفاده از دو ظرفیت خازنی که در طرفین شفت قرار گرفته اند و سبب اتصال آن به فریم می شوند مدل‌سازی می شود. امپدانس جاروبک هم با استفاده از مدار که در سمت متصل به سیستم تحریک ژنراتور متصل شده است مدل سازی می شود.



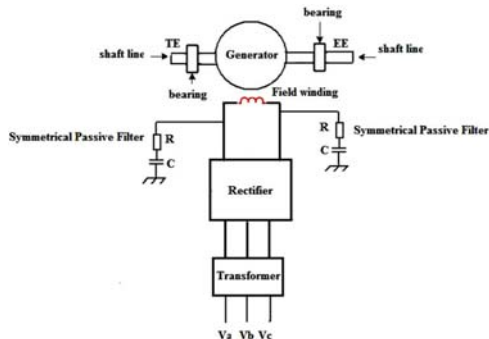
شکل ۲. مدل گسترده استخراج شده برای سیستم تحریک ژنراتور مورد

مطالعه

## ۳- راهکارهای مقابله با ولتاژهای شفت و جریان

### یاتاقان ها

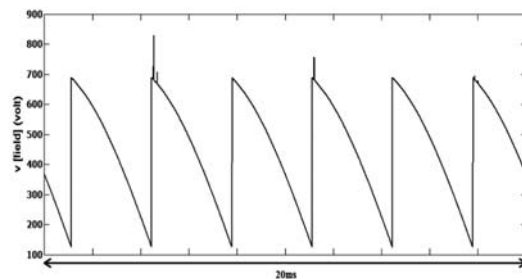
راهکارهای متعددی جهت مقابله با ولتاژهای شفت وجود دارند که هر یک دارای مزایا و معایب خود می باشند. در ساده ترین و ابتدایی ترین حالت می توان در مرحله ساخت ماشین، از به وجود آمدن هر نوع عدم تقارنی، که در نهایت منجر به تولید ولتاژهای شفت می شوند، جلوگیری به عمل آورد. تمامی اجزا مغناطیس شده جهت جلوگیری از وقوع شار محوری شفت بایستی مغناطیس زدایی شوند. راهکار دیگر زمین کردن سمت متصل به توربین ژنراتور توسط جاروبک های زمین است. با توجه به اینکه زمین کردن شفت در نقاط خاصی انجام می شود این کار به صورت کامل باعث از بین رفتن ولتاژهای شفت در سمت دیگر ژنراتور نمی شود و همچنین اتصال مستقیم جاروبک ها به شفت در حال گردش فرآیندی سخت است و می تواند دچار قطعی در طول کار ژنراتور شود. استفاده از لایه های عایقی در تمامی مسیرهای اتصال کوتاه می تواند سبب جلوگیری از وقوع جریان های بالا شود [۳]. علاوه بر راهکارهایی که به آن ها اشاره شد به منظور حذف پیک های فرکانس بالا در خروجی یکسوساز می توان از فیلترهای متقارن پسو استفاده کرد. این فیلترها در خروجی یکسوساز قرار می گیرند و با جذب پیک هایی با فرکانس بالا که سوار بر ولتاژ DC خروجی یکسوساز می باشند از ورود آن ها به سیم پیچی میدان جلوگیری به عمل می آورند. بدین طریق ولتاژ شفت به مقدار مناسبی کاهش پیدا می کند. این فیلتر به صورت متقارن به هر دو پایانه مثبت و منفی خروجی یکسوساز متصل می گردد. مقدار مقاومت و ظرفیت خازنی این فیلتر بسته به فرکانس قطعی که برای آن در نظر گرفته می شود تعیین می گردند. با توجه به فرکانس قطع مقدار مقاومت  $10\Omega$  و مقدار ظرفیت خازنی  $2\mu F$  در نظر گرفته می شود. نحوه اتصال این فیلتر به صورت شماتیک در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳. شماتیک نحوه اتصال فیلتر پسو به سیستم تحریک

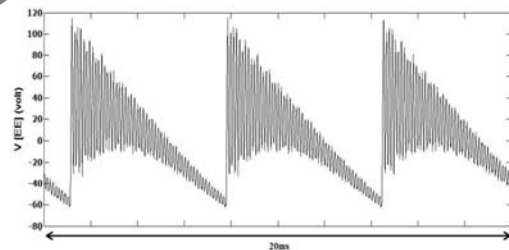
#### ۴- نتایج شبیه سازی ها

با شبیه سازی مدل استخراج شده در محیط Simulink مقدار ولتاژ مربوط به ورودی سیستم تحریک و همچنین ولتاژهای شفت در دو انتهای متصل به توربین و متصل به سیستم تحریک شفت ژنراتور در سیستم قابل مشاهده خواهند بود. نتایج حاصل از شبیه سازی مدل استخراج شده، که در شکل ۲ نشان داده شده بود، در اشکال زیر آورده شده است. شکل موج ولتاژ ورودی میدان که از خروجی یکسوساز گرفته می شود در شکل ۴ قابل مشاهده است.



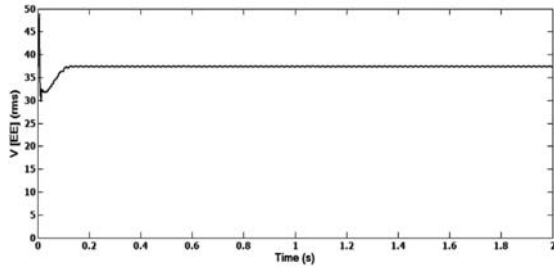
شکل ۴. ولتاژ ورودی میدان

با توجه به شکل موج ولتاژ ورودی سیم پیچی تحریک و با توجه به فرکانس های بالایی که سوار بر آن بودند، شکل موج ولتاژ شفت، اندازه گیری شده در سمت متصل به سیستم تحریک، به صورت شکل ۵ می باشد.



شکل ۵. شکل موج ولتاژ شفت اندازه گیری شده در سمت متصل به سیستم تحریک

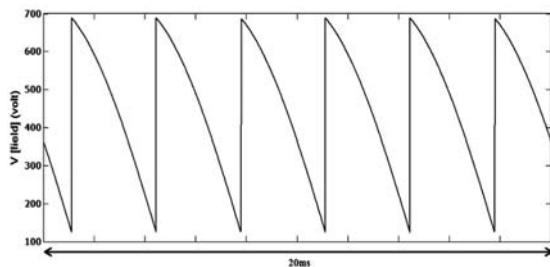
همان طوری که ملاحظه می شود شکل موج ولتاژ شفت اندازه گیری شده در سمت متصل به سیستم تحریک دارای فرکانس اصلی ۱۵۰ Hz است که این فرکانس سه برابر فرکانس اصلی شبکه، یعنی فرکانس ۵۰ Hz می باشد. با توجه به شکل ۵ ولتاژهای شفت در حالت عملکرد عادی سیستم دارای مقادیر بالایی می باشند که این مقادیر به راحتی می توانند باعث ایجاد جریان یاتاقان ها بشوند که به موجب آن با گذشت زمان یاتاقان ها آسیب می بینند و از کار می افتند. مقدار موثر شکل موج ولتاژ در سمت متصل به سیستم تحریک به صورت شکل ۶ می باشد.



شکل ۶. مقدار موثر ولتاژ شفت اندازه گیری شده در سمت متصل به سیستم تحریک

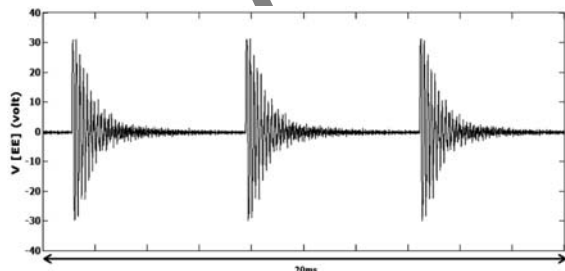
همان طوری که در شکل ۶ مشاهده می شود مقدار موثر ولتاژ در سمت متصل به سیستم تحریک در ابتدای شبیه سازی به مقدار ۴۸ ولت هم می رسد ولی پس از آن روی مقدار ۳۷٫۳ قرار می گیرد.

شکل موج مربوط به ولتاژ ورودی به میدان در زمان اعمال فیلتر پسیو به سیستم تحریک در شکل ۷ نشان داده شده است. ملاحظه می شود که پیک های فرکانس بالایی که در شکل ۴ قرار داشتند با اعمال این فیلتر از بین رفته اند. کم شدن سطح ولتاژهای فرکانس بالا منجر به کاهش سطح ولتاژهای شفت و جریان های عبوری از یاتاقان ها خواهد گشت.

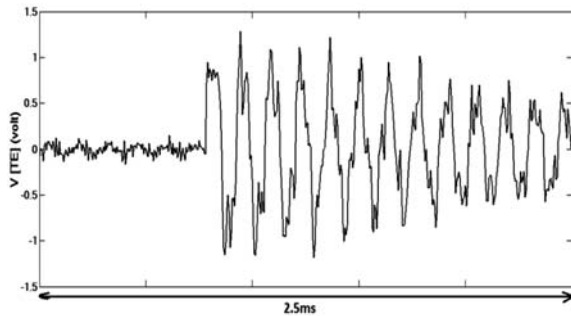


شکل ۷. ولتاژ ورودی میدان در زمان اعمال فیلتر پسیو

شکل موج ولتاژ شفت اندازه گیری شده در سمت متصل به سیستم تحریک به صورت شکل ۸ می باشد. ملاحظه می شود که دامنه این ولتاژ حداکثر به مقدار ۲۹ ولت می رسد.



شکل ۸. شکل موج ولتاژ شفت اندازه گیری شده در سمت متصل به سیستم تحریک در زمان اعمال فیلتر پسیو



شکل ۱۱. ولتاژ شفت اندازه گیری شده در سمت متصل به توربین در زمان اعمال فیلتر پسیو- در نصف بار نامی ژنراتور

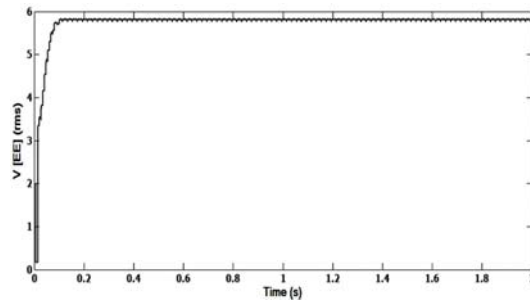
به منظور بررسی صحت نتایج حاصل از مدل سازی سیستم در این قسمت سعی شده است که از ژنراتور مورد مطالعه تست عملی گرفته شود و ولتاژهای شفت در دو انتهای متصل به سیستم تحریک و متصل به توربین اندازه گیری شوند. نتایج عملی حاصل از اندازه گیری ولتاژ شفت در دو سمت در زمان اعمال فیلتر پسیو در شکل های زیر آورده شده اند. شکل موج ولتاژ شفت اندازه گیری شده در سمت متصل به سیستم تحریک در فرکانس های پایین به صورت شکل ۱۲ می باشد. همان طوری که در شکل هم مشاهده می شود این شکل موج یک شکل موج نوسانی با پیک های ولتاژی تا حد ۸ ولت می باشد. ذکر این نکته هم ضروری است که تمامی این ولتاژها در نصف بار نامی اندازه گیری شده اند.



شکل ۱۲. ولتاژ شفت اندازه گیری شده در سمت متصل به سیستم تحریک در فرکانس های پایین

به همین ترتیب شکل موج ولتاژ شفت اندازه گیری شده در سمت متصل به توربین در فرکانس های پایین به صورت شکل ۱۳ می باشد. همان طوری که مشاهده می شود این ولتاژ دارای شکل موجی نوسانی با پیک ولتاژ تا ۱۰،۲ ولت می باشد.

مقدار موثر شکل موج ولتاژ نشان داده شده است در شکل ۸ به صورت شکل ۹ می باشد.



شکل ۹. مقدار موثر ولتاژ شفت اندازه گیری شده در سمت متصل به

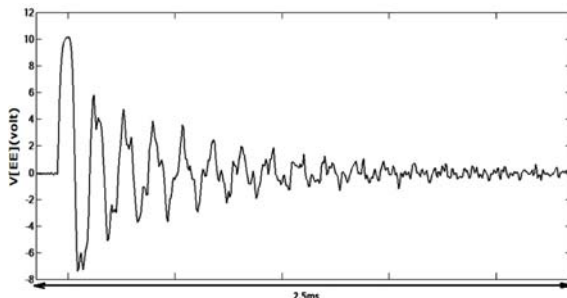
سیستم تحریک در زمان اعمال فیلتر پسیو

همان طوری که در شکل ۹ مشاهده می شود مقدار موثر ولتاژ در سمت متصل به سیستم تحریک به ۶ ولت می رسد. این سطح ولتاژ، سطح ولتاژ مناسبی است که باعث ایجاد آسیب به یاناقان ها نمی شود.

۵- نتایج تست عملی روی ژنراتور 200MVA- ANSALDO-TY 1054 به منظور اندازه-

گیری ولتاژهای شفت در دو انتهای TE و EE

به منظور بررسی صحت نتایج حاصل از شبیه سازی مدل استخراج شده سیستم در زمان اعمال فیلتر پسیو، بر روی ژنراتور مورد مطالعه تست های عملی صورت گرفته است. البته به علت محدودیت های بهره برداری تستی که از سیستم مورد نظر گرفته شده در وضعیت کارکرد در حالت نصف بار بوده و لذا بایستی نتایج شبیه سازی ها برای حالت نیم بار به منظور مقایسه تکرار شود. ولتاژهای شفت در سمت متصل به سیستم تحریک و سمت متصل به توربین که حاصل شبیه سازی مدل استخراج شده سیستم در نصف بار نامی هستند در شکل های ۱۰ و ۱۱ آورده شده است.

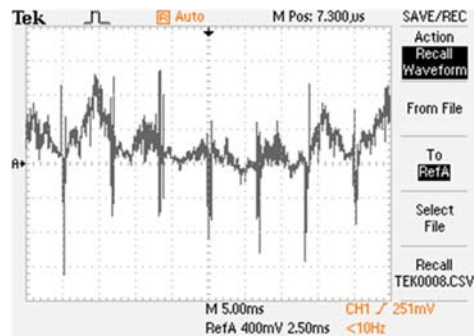


شکل ۱۰. ولتاژ شفت اندازه گیری شده در سمت متصل به سیستم تحریک در زمان اعمال فیلتر پسیو- در نصف بار نامی ژنراتور

## نتیجه گیری

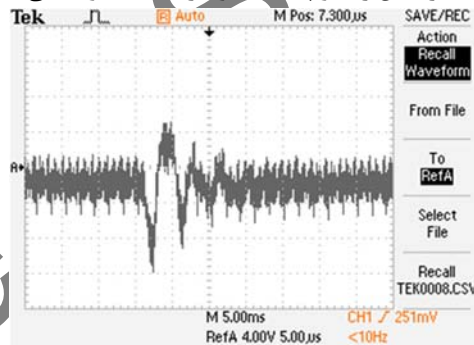
ولتاژهای شفت و جریان‌های عبوری از یاتاقان‌ها از جمله پارامترهای غیرقابل صرفنظر در ماشین‌های دوار می‌باشند. این پدیده به این صورت است که با القای ولتاژ روی شفت مولد و به تبع آن روی یاتاقان‌ها، جریانی از یاتاقان‌ها به زمین ایجاد می‌گردد و عبور این جریان از یاتاقان‌ها به مرور زمان منجر به یونیزه شدن روغن یاتاقان‌ها می‌گردد. سیستم‌های تحریک استاتیک از منابع تولید ولتاژهای شفت می‌باشند.

در این مقاله پس از بررسی مدارهای معادل مختلفی که تاکنون به منظور بررسی پدیده ولتاژهای شفت در موتورهای القایی و هم‌چنین ژنراتورها ارائه شده‌اند و به دست آوردن نقاط ضعف و قوت هر یک، مدل کاملی به منظور انجام شبیه‌سازی-های عددی استخراج گردیده است. در مدل ارائه شده که به صورت گسترده می‌باشد تمامی پارامترهایی که در مسیر ایجاد ولتاژهای شفت نقش دارند مدل‌سازی شده‌اند. مدل مداری بدست آمده به صورت نمونه برای ژنراتور -200MVA ANSALDO-TY 10546، با استفاده از مشخصات مربوط به این ژنراتور که در اسناد آن موجود است، استخراج گردیده و شبیه‌سازی‌های مربوطه هم روی همین مدل انجام شده است. به منظور مقابله با پدیده ولتاژهای شفت و جریان عبوری از یاتاقان‌ها، تاکنون راهکارهای متعددی ارائه شده‌اند که پس از بررسی اکثر این راهکارها و مشخص کردن نقاط ضعف و قوت هر یک، سعی شده است راهکاری که نقاط قوت مربوط به راهکارهای گذشته را داشته باشد و در عین حال بتواند نقاط ضعف آن‌ها را پوشش دهد در این گزارش آورده شود و برای سیستم مورد بررسی طراحی و تست گردد. راهکار ارائه شده به مدل مستخرج از سیستم اضافه گردید. نتایج حاصل از مدل-سازی سیستم بدون اعمال فیلتر به آن و با اعمال فیلتر پسیو به خروجی یکسوساز در مدل استخراج شده از سیستم با شبیه-سازی در محیط SIMULINK قابل مشاهده و بررسی می-باشند. در این میان به منظور بررسی صحت نتایج حاصل از مدل‌سازی سیستم در محیط SIMULINK با واقعیت، از ژنراتور مورد بررسی به صورت عملی تست گرفته شده است و نتایج حاصل از آن در مقاله آورده شدند. ملاحظه می‌گردد که تطابق قابل قبولی بین نتایج حاصل از شبیه‌سازی و تست عملی وجود دارد.



شکل ۱۳. ولتاژ شفت اندازه‌گیری شده در سمت متصل به توربین در فرکانس‌های پایین

شکل موج ولتاژ شفت اندازه‌گیری شده در سمت متصل به سیستم تحریک در فرکانس‌های بالا به صورت شکل ۱۴ می‌باشد. همان‌طوری که مشاهده می‌شود این ولتاژ دارای شکل موجی نوسانی با فرکانس زیاد و پیک‌های ولتاژ تا حد ۱۱ ولت می‌باشد.



شکل ۱۴. ولتاژ شفت اندازه‌گیری شده در سمت متصل به سیستم تحریک در فرکانس‌های بالا

شکل موج ولتاژ شفت اندازه‌گیری شده در سمت متصل به توربین در فرکانس‌های بالا به صورت شکل ۱۵ می‌باشد. همان‌طوری که مشاهده می‌شود این ولتاژ دارای شکل موجی نوسانی با پیک‌های ولتاژی تا حد ۱،۲ ولت می‌باشد.



شکل ۱۵. ولتاژ شفت اندازه‌گیری شده در سمت متصل به توربین در فرکانس‌های بالا

- [١]. Jean-Eric Torlay, Chantal Corenwinder, Alain Audoli, Joel Herigault, Albert Foggia, "Analysis of Shaft Voltages in Large Synchronous Generators", International Conference IEMD, PP. 607-609, 1999
- [٢]. Paul I. Nippes, Elizabeth S. Galano, "Understanding Shaft Voltage and Grounding Currents of Turbine Generators", Magnetic Products and Services, Inc, Holmdel
- [٣]. C.Amman, K.Reichert, R.Joho, Z.Posedel, "Shaft Voltages in Generators with Static Excitation Systems-Problems and Solution", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 3, No. 2, June 1988
- [٤]. Rajendra Naik, Thomas A. Nondahl, Michael J. Melfi, Rich Schiferl, Jian-She Wang, "Circuit Model for Shaft Voltage Prediction in Induction Motors Fed By PWM-Based AC Drives", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 39, No. 5, September/October 2003
- [٥]. H. Valizadeh, M. Tavakoli Bina, "Complete Harmonic Domain Modeling and An Optimal PWM Modulated Statcom in A Realistic Distribution Network", PRZEGLAD ELECTROTECHNICZNY, Vol. 85, PP. 156-161
- [٦]. Hai Yan Lu, Jian Guo Zhu, S. Y. Ron Hui, "Experimental Determination of Capacitances in High Frequency Transformers ", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 18, No. 5, September 2003
- [٧]. Bidyut K. Sen et al, "Skin Effects Models for Transmission line Structure Using Generic Spice Simulations ", Electrical Performance of Electronic Packaging, PP. 128-131, 1998
- [٨]. Michael J. Costello, "Shaft Voltages and Rotating Machinery", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 29, No. 2, March/April 1993



# SID



ابزارهای  
پژوهش



سرویس ترجمه  
تخصصی



کارگاه های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری  
STES



فیلم های  
آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



تازه های آموزش  
آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقالات ISI

آموزش مهارت های کاربردی  
در تدوین و چاپ مقالات ISI



تازه های آموزش  
روش تحقیق کمی

روش تحقیق کمی



تازه های آموزش  
آموزش نرم افزار Word برای پژوهشگران

آموزش نرم افزار Word  
برای پژوهشگران