Reducing the risk of air compressor explosion based on static electricity monitoring

Seyed Mohsen Qavami[1]*
Kerman University of Postgraduate Education, master's degree, Mes Shahid Bahonar, Kerman

Mohammad Ali Arabnejad[2]
Shahid Bahonar University of Kerman, expert, Shahid Bahonar University of Kerman

Mohammadreza Bahrampour[3]
Shahid Bahoner University of Kerman, master's degree, Shahid Bahonar University of Kerman
Zabihullah Ebrahimi[4]
Shahid Bahoner University of Kerman, master's degree, Shahid Bahonar University of Kerman

Abstract

Condition-based maintenance is the most effective strategy available for managing physical assets. A condition monitoring tool is used to implement this strategy. Screw compressors are one of those machines whose earth cable must be properly connected to the ground before starting. The static electricity created on the air and oil separator filter is known as an important factor in the explosion. This connection to the ground causes the discharge of electrons and prevents the risk of explosion. In this paper, the analysis of static electricity produced by rubbing compressed air and oil with a filter is done and its modeling is done with MATLAB software and it has been tried to provide a method to identify and measure static electricity and its scope. In case of weakness in the electricity discharging system, preventive measures can be taken before any accident. The above idea can be used for all compressor industries.

Keywords: screw compressor, static electricity, earth well, separator filter

[1] ghavami@csp.ir,09132954763, ORCID Code: 0009-0006-0687-7972
[2] arabnejad@csp.ir
[3] mohamadreza.bahrampour@yahoo.com
[4] z.ebrahimi@csp.ir

کاهش خطر انفجار کمپرسور هوا بر مبنای پایش الکتریسیته ساکن

سیدمحسن قوامی*[1]
دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان،کارشناس ارشد، مس شهید باهنر کرمان
محمدعلی عرب نژاد[2]
دانشگاه شهید باهنر کرمان،کارشناس، مس شهید باهنر کرمان
محمدرضا بهرامپور[3]
دانشگاه شهید باهنر کرمان،کارشناس ارشد، مس شهید باهنر کرمان
ذبیح الله ابراهیمی[4]
دانشگاه شهید باهنر کرمان،کارشناس ارشد، مس شهید باهنر کرمان

چکیده
نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت، مؤثرترین برنامه موجود برای مدیریت دارایی‌های فیزیکی است. برای پیاده‌سازی این برنامه از ابزار پایش وضعیت استفاده می‌شود. کمپرسورهای پیچشی (اسکرو) جزء آن دسته از ماشین آلاتی هستند که قبل از راه اندازی می بایست کابل ارت آن بخوبی به زمین متصل شود. الکتریسیته ساکن ایجاد شده بر روی فیلتر جداکننده هوا و روغن (سپراتور) بعنوان یک عامل مهم در انفجار شناخته شده است. این اتصال به زمین سبب تخلیه بارها و جلوگیری از خطر انفجار می باشد. در این مقاله، تحلیل الکتریسیته ساکن تولید شده توسط سایش هوای فشرده و روغن با فیلترانجام و به مدلسازی آن با نرم افزار MATLAB پرداخته شده است و سعی شده است تا با ارائه روشی، الکتریسیته ساکن شناسایی و اندازه گیری و میزان آن اطلاع رسانی شود تا در صورت بروز ضعف در سیستم تخلیه کننده الکتریسیته، قبل هر حادثه، اقدام پیشگیرانه بعمل آید. ایده فوق قابلیت استفاده برای تمامی صنایع کمپرسورسازی را دارا است.

کلمات کلیدی: کمپرسور پیچشی، الکتریسیته ساکن، چاه ارت، فیلتر جدا کننده

۱-مقدمه
هوا قابل فشرده سازی است، می توان آن را متراکم کرد و از نیروی آن بهره برد که برای انجام این کار از دستگاه مکانیکی به نام کمپرسور استفاده می کنیم. این دستگاه با فشاری که به هوا یا گاز (نیتروژن، اکسیژن و گازهای صنعتی دیگر) وارد می کند باعث فشرده سازی و کاهش حجم آن می شود. این فشرده سازی باعث افزایش دمای سیال نیز می شود. اما در خروجی گاز متراکم شده از یک سیستم خنک کننده می گذرد که دمای آن را به دمای اولیه برمی گرداند. اگر روند تولید بارهای ساکن در یک جسم بیشتر از نرخ نشت آن باشد ولتاژ جسم، رفته رفته افزایش می یابد به حدی که بالاخره سبب یک تخلیه ناگهانی انرژی به بخشی از محیط اطراف میشود که این تخلیه ناگهانی در پاره‌ای از موارد خطر آفرین خواهد بود. افزایش ولتاژ قبل از تخلیه می تواند به چندین هزار ولت برسد. الکتریسیته ساکن در صنایع معمولاً از روشهایی مانند عبور مواد پودر شده از روی نقاله،چرخش تسمه ها و کمربندهای انتقال قدرت غیر هادی،جریان هوا و یا دیگر سیالات از مجراها و دریچه ها و سایش آنها با تجهیزات مجاور و ...تولید می گردد. موضوع تجمع بارهای الکتریکی در فیلتر کمپرسورها و خطرات متعاقب آن در این مقاله تحلیل و به شبیه سازی آن با ارائه راهکاری برای کاهش این خطر پرداخته شده است.

[1] ghavami@csp.ir,09132954763, ORCID Code: 0009-0006-0687-7972
[2] arabnejad@csp.ir
[3] mohamadreza.bahrampour@yahoo.com
[4] z.ebrahimi@csp.ir

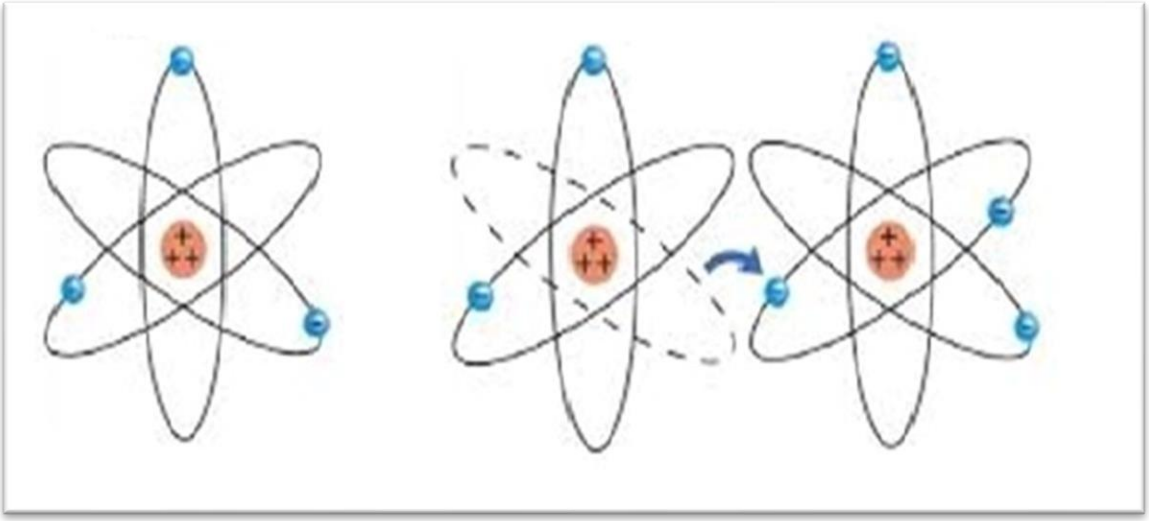
در ادامه الکتریسیته ساکن و پیدایش بار الکتریکی بیان شده است. این موضوع در کمپرسورهای پیچشی در بخش دوم تشریح شده است. مدلسازی سیستم کمپرسور و تولید الکتریسیته و چگونگی سنجش الکتریسیته برای کاهش خطرات آن در بخش سوم آورده شده است. در انتها نتایج شبیه سازی و تجربی طرح ارائه گردیده است (خسروی و همکاران، ۱۴۰۲).

۲-الکتریسیته ساکن

می دانیم همه اشیاء این جهان از «اتم» تشکیل یافته و اتم در حقیقت همچون آجر برای ساختمان عظیم این کاخ بزرگ عالم ماده است. قرآن وجود اتم را با اشاره به اجزاء کوچک تر از آن، در آیه ی ۶۱ سوره ی یونس چنین بیان می کند:

وَ ما یَعزُبُ عَن رَبِّکَ مِن مِثقالَ ذَرَّةً فیِ الاَرضَ وَ لا فیِ السّماءِ وَ لا اَصغَرَ مِن ذلِکَ وَ لا اَکبَرَ اِلّا فی کِتابٍ مُبین - از علم و آگاهی خداوند هرگز هیچ چیز به اندازه ی یک ذره(اتم)نه در زمین و نه در اسمان پنهان و مخفی نیست .نه تنها به اندازه ی و مقداریک ذره (اتم) از خدا پوشیده نیست بلکه از ذره (اتم) کوچکتر ویا بزرگ تر ازآن نیزبر او پنهان نیست .مگر این که هر چیز در کتاب آشکاراو ثبت است.

همچنین در قرآن کریم داریم: وَمِن کُلِّ شَیْءٍ خَلَقْنَا زَوْجَیْنِ لَعَلَّکُمْ تَذَکَّرُونَ.(سوره ذاریات ۴۹) و از هر چیزی دو نوع (نر وماده) بیافریدیم تا مگر متذکر (حکمت خدا) شوید. که می تواند اشاره به این حقیقت باشد که تمام اشیای جهان از ذرات مثبت و منفی ساخته شده و امروز از نظر علمی مسلم است که اتم ها می توانند دارای بار مثبت و یا منفی باشند (نجفی،۱۳۷۷). همان طور که می دانیم الکتریسیته‌ی ساکن در واقع عدم تعادل بارهای الکتریکی در داخل یا روی سطح یک ماده است.(شکل۱)



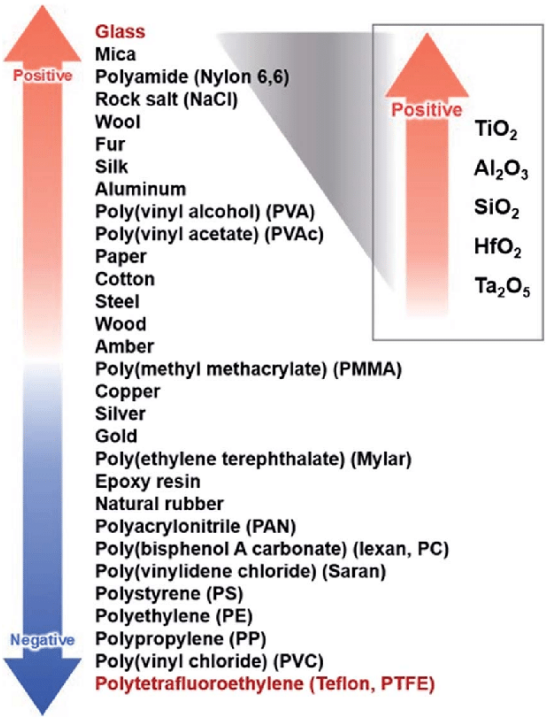
شکل (۱). چگونگی باردار شدن یک اتم

این پدیده به چند طریق زیر ممکن است اتفاق بیفتد:

- الکتریسیته حاصل از اصطکاک (الکتریسیته مالشی[1]) - مانند سایش دو جنس مختلف بر روی هم
- تولید الکتریسیته حاصل از فعل و انفعالات شیمیایی (کنش و واکنش شیمیایی) - مانند کار فرآیند باطریهای اسیدی
- تولید الکتریسیته حاصل از فشار مکانیکی - مانند تکنولوژی پیزوالکتریک
- تولید الکتریسیته حاصل از حرارت (ترمو الکتریک[2]) – مانند سیستم کاری ترموکوپل
- الکتریسیته حاصل از نور (فوتو الکتریکی[3]) – مانند تکنولوژی پنل خورشیدی
- تولید الکتریسیته حاصل از مغناطیس[4] – مانند سیستم ژنراتور برای تولید برق

[1] Tribo electric
[2] Therm electric
[3] Photo electric
[4] Electro magnetism

در حالت الکتریسیته مالشی بسته به نوع ماده (نحوه قرارگیری ابرالکترونی اطراف پروتون) ممکن است اتم‌های برخی از مواد نسبت به اتم‌های مواد دیگر کشش قوی‌تری روی الکترون‌ها داشته باشند. بنابراین، اگر دو ماده مختلف که یکی از آن‌ها الکترون‌های بیشتری نسبت به دیگری جذب می‌کند را در تماس با یکدیگر قرار دهیم، این امکان وجود دارد که الکترون‌های یکی از مواد به طرف دیگری جذب شوند. در واقع، هنگامی که دو ماده را از یکدیگر جدا می‌کنیم، الکترون‌ها به سمت ماده‌ای جهش می‌یابند که آن‌ها را قوی‌تر جذب می‌کند. در نتیجه، یکی از مواد تعدادی الکترون اضافه به دست می‌آورد (به صورت منفی باردار می‌شود) و ماده دیگر تعدادی الکترون از دست می‌دهد (به صورت مثبت باردار می‌شود). لذا جدولی به نام جدول تریبوالکتریک توسط دانشمندان شیمی بدست آمده و تمایل اجسام نسبت به یکدیگر برای مثبت یا منفی شدن بار آنها را در اثر مالش نشان می‌دهد. شکل(۲) این جدول را بهمراه برخی مواد دی الکتریک اکسیدی نشان می‌دهد (کیم و لی[1]، ۱۹۶۷). در این مقاله مشکلی که سالیان زیادی است شرکتهای کمپرسورساز و همچنین کارخانجات بهره بردار کمپرسورهای هوا درگیر آن هستند و آن خطر انفجار در اثر تولید الکتریسیه‌ی ساکن می باشد بررسی شده است و راهکاری نوین و قابل استفاده در صنعت برای آن گردآوری شده است که در ادامه به تفصیل آمده است (حمزه ای و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل (۲). جدول تریبو الکتریک

۳-عملکرد کمپرسور

کمپرسور پیچشی (اسکرو) جزو رایجترین دستگاه های تولید هوای فشرده می باشد که نحوه کار آن به صورت زیر است:

پس از روشن شدن دستگاه ابتدا هوای محیط از فیلتر عبور کرده و به قسمت هوا ساز وارد می شود، در قسمت هوا ساز دو عدد روتور مارپیچی به شکل نری و مادگی قرار دارد که با فاصله و لقی بسیار کم به صورت متناوب در حال دوران هستند، هوا در این بخش پس از ورود به کمپرسور در فضای بین دو مارپیچ و پوسته به دام می افتد و سپس به علت کاهش حجم پیوسته، انرژی جنبشی مولکول های هوا بالا میرود و فشرده سازی صورت می پذیرد. افزایش فشار در کمپرسور های اسکرو از یک سمت شروع می شود و در انتهای مارپیچ ها هوای فشرد شده خارج و پس از فیلتر شدن روغن، در مخزن هوای فشرده ذخیره سازی می گردد. در واقع سیکل هوای داخل کمپرسور شامل فیلتر هوای مکش، شیر کنترل ورودی هوا، بلوک هواساز، تانک تفکیک روغن-هوا، شیر کنترل فشار می باشد. سیکل روغن یا مدار روغن شامل جدا کننده هوا و روغن، مبدل حرارتی روغن، فیلتر

[1] Kim and Lee

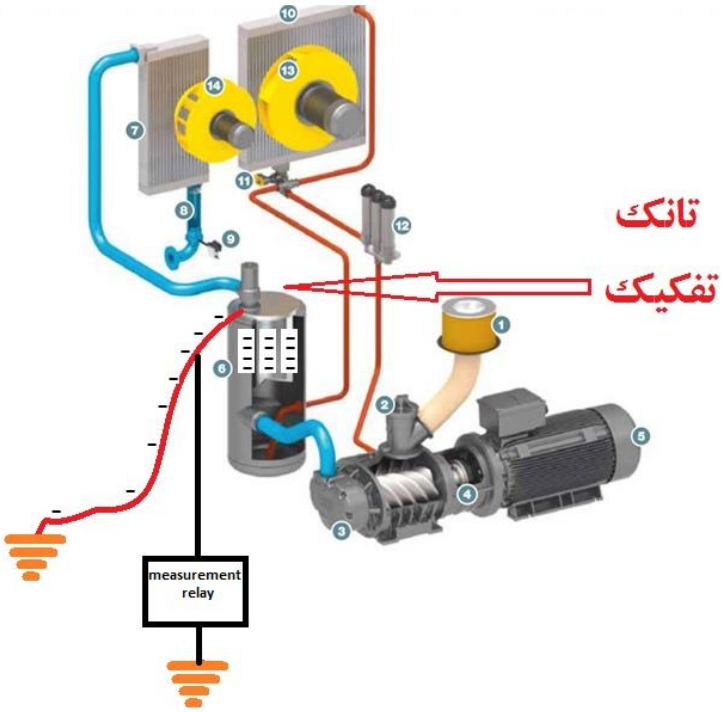
روغن و شیر کنترل دماست. قسمت انتهایی فیلتر جدا کننده هوا و روغن (سپراتور)، محلی است که در آن روغن جمع می شود. فشار این بخش، روغن گرم شده را دوباره به چرخه باز می گرداند که در این چرخه روغن دوباره سرد میشود . شکل (۳) این فرایند را نشان می دهد[hogller site].

شکل (۳). مدار چرخش روغن و تولید الکتریسیته در فیلتر

وجود روغن در واحد هوا ساز در طول فرایند متراکم سازی، مانع از برخورد روتور ها به یکدیگر می شود در واقع روغن وظیفه روان کاری و خنک کردن روتورها را بر عهده دارد. سپس ترکیب هوا و روغن فشرده شده به تانک تفکیک می رسد.در این قسمت روغن از هوا جدا شده وسپس روغن و هوای داغ برای خنک شدن وارد رادیاتورها می شوند .روغن پس از فیلتر شدن دوباره به سیستم باز می گردد و هوا پس از خنک شدن به مخزن کمپرسور انتقال می یابد.در قسمت تانک تفکیک، مخلوط هوا وروغن فشرده شده از واحد هواساز جهت جدا سازی هوا از روغن از فیلتر های تانک تفکیک عبور کرده و هوا از فیلتر ها خارج و روغن به مخزن تانک تفکیک برگشت داده می شود. در اثر سایش مخلوط هوا وروغن برروی کاغذ فیلتر، الکتریسیته ساکن متمرکز شده و باتوجه به اینکه دمای محیط به حدود ۹۰ الی ۱۰۰ درجه می باشد مستعد برای ایجاد جرقه و انفجار و آتش سوزی می‌باشد لذا برای جلوگیری از این اتفاق باید این الکتریسیته ساکن از طریق ارت دستگاه خارج شود .بنابراین چنانچه به هر دلیل ارت دستگاه و یا چاه ارت و اتصالات ارت نامناسب باشد خطر انفجار وجود دارد که کارخانه مس شهید باهنر نیز از این حادثه مستثنی نبوده است و چندین مرتبه شاهد این رویداد بوده است (https://hogller.ir/4873/screw-compressor/).

۴-سیستم ارت کمپرسور و مدلسازی آن

شکل(۴) کمپرسور و نحوه اتصال به سیستم ارت را در کارخانه مس باهنر کرمان نمایش می دهد. وقتی که کمپرسور روشن می‌شود و جریان هوای مخلوطی از روغن بر روی فیلتر سایش ایجاد می کند، الکتریسیته ساکن تولید شده و سپس به سمت چاه ارت هدایت می شود.



شکل (۴). تولید الکتریسیته و تخلیه آن به سمت چاه ارت

در اینجا با قرار دادن دستگاه اندازه‌گیری ولتاژ، طبق شکل(۴) اقدام به اندازه‌گیری ولتاژ تولیدی ناشی از سایش گردیده است. با توجه به اینکه در اثر سایش بین روغن و هوای فشرده با فیلتر، تولید الکتریسیته انجام می شود لذا معادل آن یک منبع تامین ولتاژ در نظر گرفته‌ایم. از آنجایی که بار الکتریکی تولید شده در این فرایند، بر روی فیلتر تجمع می یابد و طی یک ثابت زمانی معین، شارژ و دشارژ (تخلیه) می شود لذا ناحیه فیلتر و بدنه کمپرسور (فیلتر بر روی بدنه اتصال می یابد) نسبت به زمین با خازن معادل سازی می‌شود. مدار معادل این سیستم مطابق شکل(۵) می باشد. در آن :

E: منبع معادل تولید الکتریسیته در اثر سایش

R1: مقاومت چاه تخلیه کمپرسور

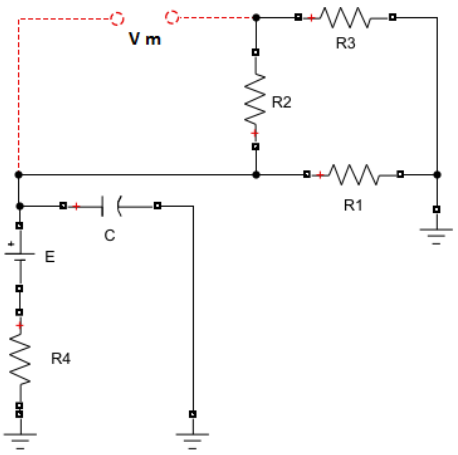
R2: مقاومت معادل بین چاه تخلیه کمپرسور و چاه دستگاه اندازه گیری

R3: مقاومت چاه دستگاه اندازه گیری

R4: مقاومت معادل روغن کمپرسور نسبت به زمین

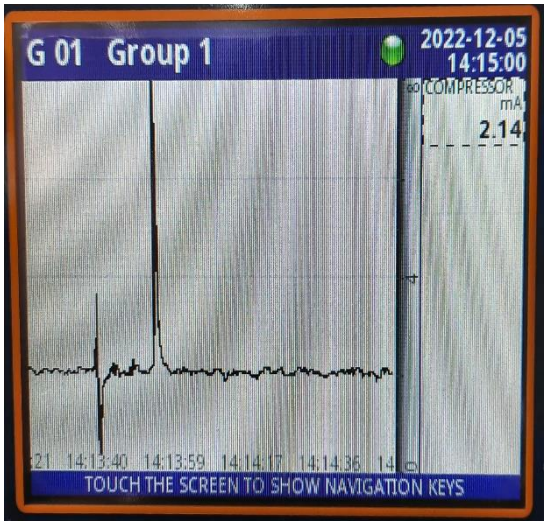
C: خازن معادل فیلتر نسبت به زمین

V_m: دستگاه ولت سنج

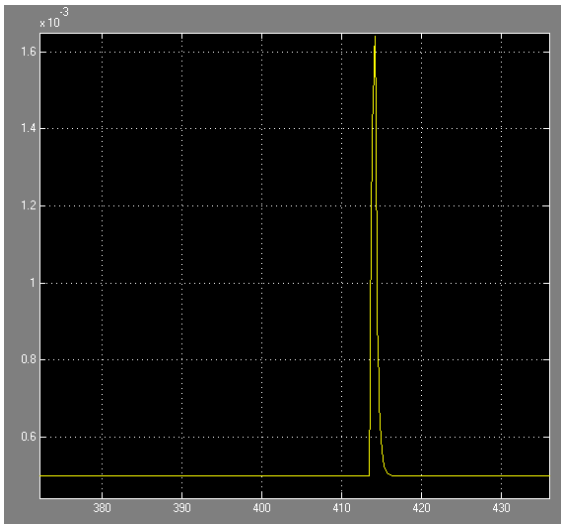


شکل (۵). مدار معادل

برای حصول اطمینان ازصحت مدل و بررسی میزان دقت روش بکارگرفته شده، بهره‌برداری از کمپرسور، شبیه‌سازی شده و با عملکرد معادل موجود در گزارش کارکرد مس باهنرکرمان مقایسه می‌کنیم. در این آزمایش، کمپرسور اول در حال کار بوده و با روشن کردن کمپرسور دوم، الکتریسیته ساکن ناگهان رو به افزایش می رود. پس از چند ثانیه کمپرسور دوم با دور نامی وارد مدار می شود و از این به بعد الکتریسیته تولیدی تقریبا مشابه حالت قبل می شود و لذا الکتریسیته افزایش یافته رو به تخلیه می رود. سیگنال جریان ثبت شده توسط دستگاه آنالیز در شکل(۶) آورده شده‌است (اخذ شده از بایگانی کارخانه). این سیگنال حاصل تبدیل ولتاژ اندازه گیری شده ۰تا ۴ میلی ولت به ۰ تا ۲۰ میلی آمپر است. نتایج مدل شبیه‌سازی شده نیز در شکل(۷) نشان داده شده است. این شکل میزان الکتریسیته تولید شده بر حسب ولت را نسبت به زمان بر حسب ثانیه نمایش می دهد. در این مدل میزان اهم R1 تا R4 به ترتیب ۱-۲-۱-۲ اهم و ظرفیت خازن ۰.۵ فاراد می باشد. صحت مدل ارائه شده در این مقایسه دیده می شود.



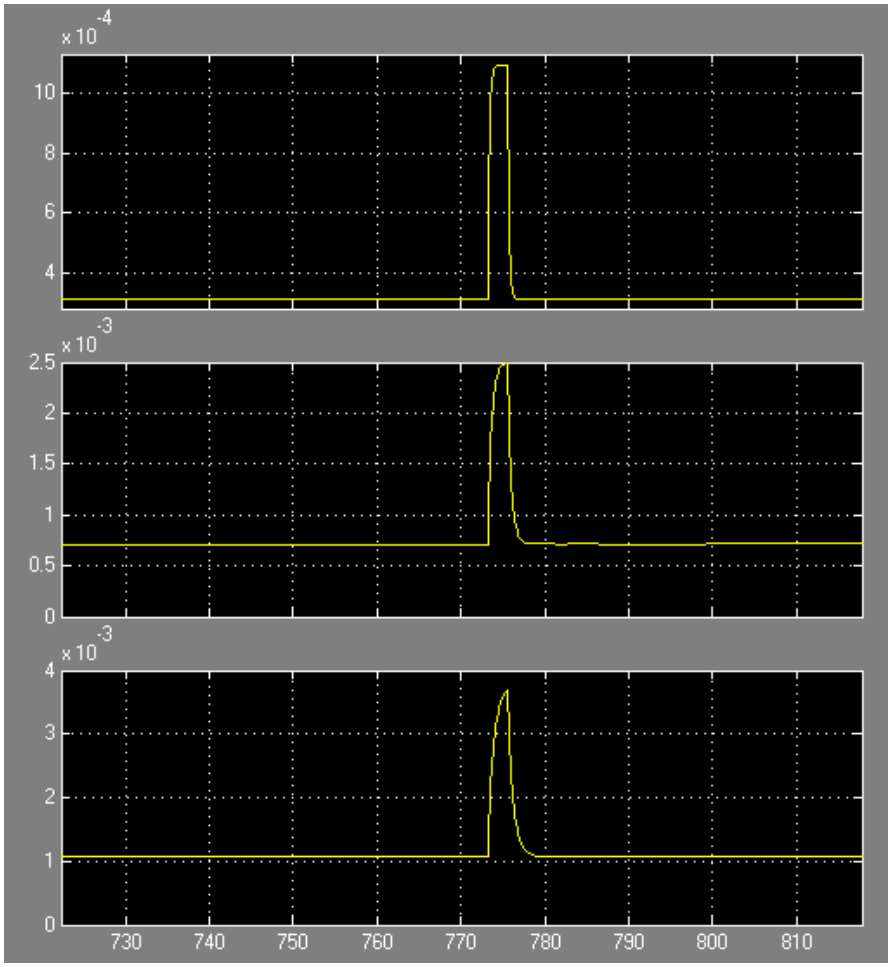
شکل (۶). سیگنال جریان ناشی از روشن شدن کمپرسور دوم (بیشینه مقدار ۸ میلی آمپر و معادل ۱.۶ میلی ولت می باشد



شکل (۷). سیگنال شبیه سازی شده الکتریسیته تولید شده در اثر روشن شدن کمپرسور دوم

۵-شبیه سازی تخلیه الکتریسیته و نتایج تجربی

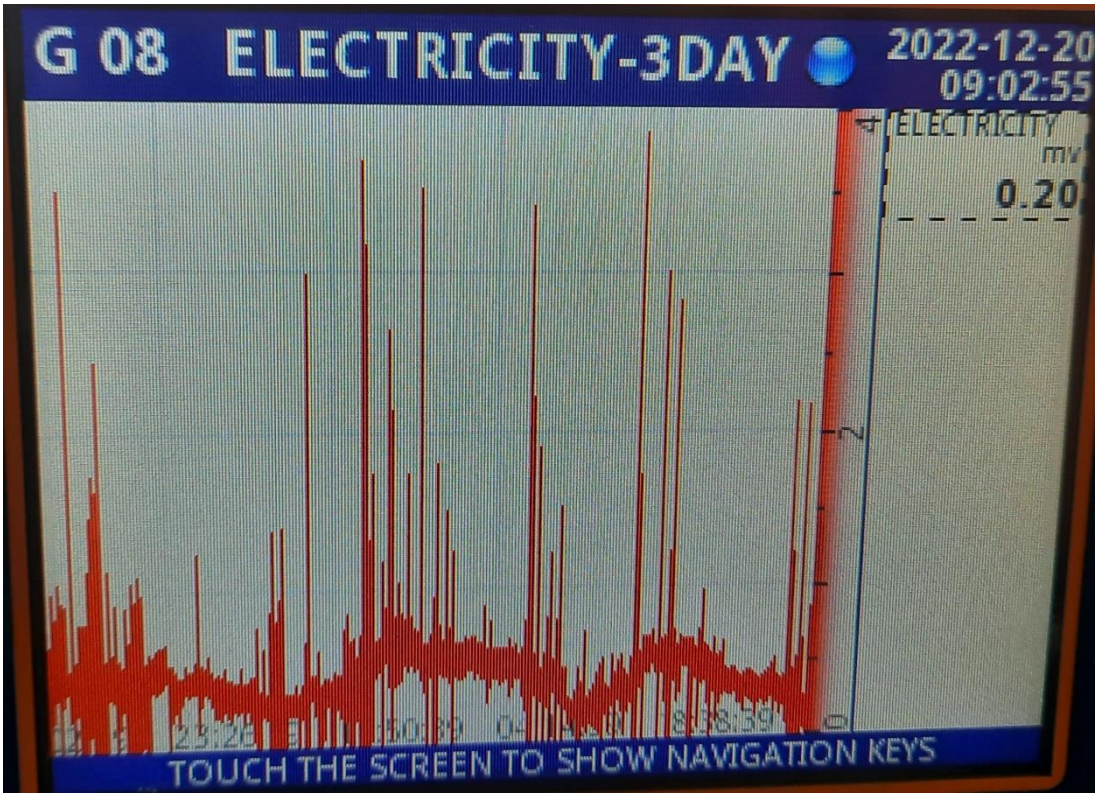
در این قسمت به ارائه شبیه‌سازی و نتایج تجربی پرداخته‌ایم. سیستم ارت مدل شده بخش قبل برای مشاهده تاثیر اهم چاه ارت کمپرسور اجرا می شود. در این سناریو، مقاومت چاه بترتیب دارای مقادیر ۰.۵ -۲ و ۹ اهم می باشد. فرض شده است. کمپرسور اول در حال کار بوده و سپس کمپرسور دوم روشن می شود. شکل (۸) الکتریسیته ساکن تولید شده را بر حسب ولت نسبت به زمان بر حسب ثانیه در سه حالت فوق نمایش می‌دهد. دیده می‌شود با افزایش مقاومت چاه ارت، میزان الکتریسیته تولیدی بیشتر و زمان تخلیه نیز بیشتر می‌شود. به عنوان نتیجه این نکته قابل اخذ است که اگر مقاومت چاه ارت کمپرسور، از میزان ۲ اهم به ۹ اهم برسد (به علت خشکی آب و هوا و آبیاری نامناسب و یا اتصالات ضعیف)، آنگاه تجمع الکتریسیته تا حدود ۴ برابر بیشتر شکل می‌گیرد و می‌تواند خطر انفجار را افزایش دهد. شکل (۹) نتایج ثبت شده طی سه روز از الکتریسیته ساکن تولیدی مجموعه کمپرسورخانه مس شهید باهنر را نمایش می دهد. در این شکل عملکرد درست چاه ارت و تخلیه سریع الکتریسیته بوضوح دیده می شود. لذا با پایش مداوم الکتریسیته ساکن ، می توان زودتر متوجه ایراد در سیستم ارت کمپرسورها شد و قبل از وقوع هر گونه حادثه، اقدام به پیشگیری کرد.



شکل (۸). از بالا به پایین به ترتیب مقاومت چاه ۰.۵ اهم،۲ اهم و ۹ اهم می باشد. محور عمودی ولتاژ بر حسب ولت و محور افقی زمان بر حسب ثانیه است.

۷-نتیجه گیری

دیده شد با عبور مخلوط پر فشار هوا و روغن در کمپرسورهای هوای پیچشی، الکتریسیته ساکن تولید می شود. شبیه سازی این رویداد انجام گرفت. در این شبیه‌سازی از نرم‌افزار MATLAB برای محاسبات معادلات دیفرانسیلی مدل تولید الکتریسیته استفاده شده‌است .اعتبارسنجی مدل ارائه شده انجام و صحت مدل تایید شد. پی‌آمد تخلیه نامناسب بارهای تجمع یافته به زمین بعلت ارت نامناسب و یا قطعی سیستم ارت کارخانه مس باهنر کرمان، در نتایج شبیه‌سازی ارائه گردید. همانطور که از نتایج بر می‌آید، افزایش الکتریسیته بعضا بسیار بالاست و می تواند منجر به حادثه انفجار گردد که کارخانه مس شهید باهنر نیز از این حادثه مستثنی نبوده و چندین مرتبه شاهد این رویداد بوده است. در اینجا با ارائه یک راهکار اقدام به اندازه‌گیری این الکتریسیته گردید تا بتوان قبل از هر گونه حادثه، از آن جلوگیری کرد. بدین‌ترتیب می‌توان از تجمع بارهای الکتریکی تولیدی بر روی فیلتر کمپرسور و متعاقبا انفجار و توقفات طولانی خطوط تولید و یا خسارتهای مربوطه جلوگیری کرد.



شکل (۹). الکتریسیته ساکن تولیدی مجموعه کمپرسورخانه مس شهید باهنر در طی سه روز : محور عمودی ولتاژ برحسب میلی ولت و محور افقی زمان است.

مراجع

خسروی، ع. چترایی، ع. شاهقلیان، غ. کارگر، م. (۱۴۰۲). مروری بر کنترل پدیده سرج در کمپرسور هوا. فصلنامه روش های هوشمند در صنعت برق.

حمزه ای، م. طاهریان، ن. مجرد، ع. ابطحی، م. (۱۳۹۵). مدلسازی کامپیوتری به روش دینامیک سیالات محاسباتی خنک کن میانی کمپرسور هوا، ماهنامه مبدل گرمایی.

نجفی،گ. (۱۳۷۷). مطالب شگفت‌انگیز قرآن. نشر سبحان.

Kim, Y.J and Lee, J. (2967), Effect of the relative permittivity of oxides on the performance of triboelectric nanogenerators, RSC Advances 7(78):94318-94373-2017

https://hogller.ir/4873/screw-compressor/