اولین کنفرانس بین‌المللی، پنجمین کنفرانس ملی و نمایشگاه جانبی
صنعت سیمان و افق پیش رو
ایران/تهران ۲۰-۱۹ آبان ۱۳۹۸

انواع روشهای تست غیر مخرب جهت جلوگیری از تعمیرات زود هنگام در الکتروموتورهای فشار قوی

امیر نظام آذرشب

کارشناس مهندسی برق از مجتمع صنعتی سیمان تهران

چکیده:

الکتروموتورها یکی از تجهیزات بسیار گرانقیمت و حساس نسبت به سایر دستگاههای موجود در صنعت می باشند که کاربرد گسترده ای در کارخانه ها و کارگاههای صنعتی دارند. در این مقاله با توجه به قیمتهای بسیار بالای یک الکتروموتور فشار قوی به بررسی دقیق در مونتاژ الکتروموتورها پرداخته شده تا در شرایط راه اندازی و دائم به موتور فشار وارد نشود و هچنین در شناخت عوامل موثر در طول عمر عایقهای بکار رفته،عایق بندی در الکتروموتورها ،نوع مواد عایق بکار برده شده ، عوامل موثر بر طول عمر عایقهای آن ، نحوه سنجیدن عمر عایقها ، شرایط کاری آنها، حرارت مجاز سیم پیچها، عوامل ضعیف شدن قدرت عایقی که شامل نفوذ آب،تشعشعات یونیزه کننده، مسیر آرک در عایق،خستگی حرارتی .شناخت و بررسی دقیقتری را به عمل آمده است و پدیده هایی را که موجب صدمه دیدن آنها می گردد، پرداخته می شود.تا در نهایت با بهره بردن از این نکات بتوان استفاده حداکثری را هم از نظر عمر و هم از نظر راندمان در خطوط تولید داشته باشیم.

کلمات کلیدی:پیری حرارتی،کلاس حرارتی، تلفات حرارتی، نقطه شبنم

مقدمه:

عایق الکتریکی واسطه و یا ماده ای است که بین هادی های با پتانسیل های مختلف قرار داده میشود تا اجازه عبور جریان خیلی کم یا ناچیز را بین دو پتانسیل متفاوت بدهد .عبارت دی الکتریک تقریبا مترادف با عایق الکتریکی است که میتواند به عنوان دی الکتریک مورد استفاده قرار گیرد. از یک دی الکتریک کامل هیچ جریانی عبور نکرده و تنها جریان شارژ خازنی را بین هادی ها عبور می دهد. تنها خلاء بین سطوح هادی تمیز که تحت ولتاژ پایین میباشد می تواند به عنوان دی الکتریک کامل تعریف گردد. رنج مقاومت مواد که به عنوان عایق اطلاق میگردند از 10^{20} اهم سانتی متر تا حداقل 10^{6} سانتی متر میباشد که وابسته به شرایط ولتاژی از آنها انتخاب میشود.بین مقاومت الکتریکی نیمه هادی ها و عایق های کم مقاومت مرز دقیقی تعریف نشده است. در صورتی که مقدار ولتاژ پایین باشد و مقدار جریان عبور کرده از عایق خیلی مهم نباشد (با توجه به این که جریان عبور کرده ممکن است باعث گرم شدن و تخریب عایق گردد)،مواد عایق با مقاومت نسبتا کم قابل کاربرد میباشند.

1- قدرت عایقی

طبق تعریف ASA ماکزیمم گرادیان(شیب) پتانسیل که مواد میتوانند آن را بدون این که دپار پاشیدگی ساختار اتمی گردند را قدرت عایقی مواد گویند. بصورت عملی قدرت عایقی به این صورت گزارش میشود که مقدار ولتاژ شکست بر فاصله بین الکترودها تقسیم میشود بدون توجه به شکل الکترود ها.برای شکست عایقی نه تنها نیاز به ولتاژ کافی میباشد بلکه نیاز یه جابجایی یک حداق مقدار انرژی از درون عایق میباشد. قدرت عایقی با عوامل مختلف تغییر میکند.این عوامل شامل ضخامت نمونه،اندازه و شکل الکترودهای اعمال استرس ولتاژیی، شکل و توزیع میدان الکتریکی در عایق، فرکانس ولتاژ چگونگی افزایش ولتاژ و مدت زمان اعمال ولتاژ، خستگی در اثر تکرار اعمال ولتاژ، دما، رطوبت عایق و احتمال تغییرات شیمیاتی مواد تحت اعمال ولتاژ.قدرت عایقی متریال در اثر نقایص موجود در ماده عایق همچون ترک ها،وجود مواد هادی و وجود حباب های گاز .قدرت عایقی به شدت با وجود مواد هادی تخریب خواهد شد.برای بیان قدرت عایقی یک ماده بصورت صحیح ، اندازه و شکل نمونه ، روش تست، دما، چگونگی اعمال ولتاژ بایستی کاملا بیان گردد. (کیومرث محمودی۱۳۹۶)

از روشهای استاندارد ASTM برای آزمایش قدرت عایقی مواد میتوان استفاده کرد اما بایستی توجه داشت که سطح قدرت عایقی که در این آزمایش ها بدست میآید نمی تواند در حالت سرویس دائم در تجهیزات الکتریکی به کار گرفته شود.

قدرت عایقی مواد عایق جامد معمولا در ولتاژ DC بیشتر بوده و سیر نزولی آن نسبت به زمان کمتر میباشد چرا که در این حالت پدیده تخلیه کرونا اغلب اتفاق نمی افتد.(Karen Bartleson,2016)

۲- سیستم های عایقی در الکتروموتور:

محلهائی از الکتروموتور که نیاز به عایق کاری دارند، خود به قسمتهای مختلف تقسیم می شوند که ذیلاً به آنها اشاره می شود.

۲-۱-سیم پیچی استاتور – عایق کاری ین قسمت نیز شامل موارد زیر می باشد:

۲-۱-۱-مفتولهای مسی: بطور مستقیم عایق شده و بوسیله نوارهای الیاف شیشه و یا الیاف پلی استر شیشه دار (نومکس- کاپتون از انواع تجاری معروف آن است)

۲-۱-۲-گروههای جابه جا شده: Transposed groups :این روی مقاومت دی الکتریکی روکشهای عایق فوق بستگی دارد ، بجز انتها اتصالات که از نوارهای مختلف میکا استفاده می شود.

۲-۱-۳-عایق حلقها(turn insulation) : روی یک گروهی از رشته ها که حلقه تشکیل می دهند نوارهای عایقی از جنس میکا استفاده می شود.

۲-۱-۴-عایقهای زمین(Ground Insulation): عایقهای زمین شکلهای متعدد و مختلفی به خود دارد و تا حد زیادی به زمان ساخت وابسته است، این عایقها شامل:

- نوارهای میکا دار برای قسمت مستقیم و نوارهای پارچه ای وارنیش دار برای انتهای کوئلها.

- ترکیبی از میکا و نوارها و نوارهای آغشته به وارنیش برای قسمت مستقیم و نوارهای پارچه ای وارنیش دار برای قسمت انتهائی کوئلها.

- ورقه های نازک میکادار تقویت شده بوسیله شالاک برای قسمت مستقیم کوئلها و نوارهای پارچه ای وارنیش دار برای قسمت انتهایی کوئلها.

- نوار های یکپارچه میکادار تقویت شده بوسیله آسفالت، همچنین مواد پرکننده ترزیقی که شامل مواد آسفالتی که این سیستم شامل حال قسمت انتهائی کوئلها می باشد.(P.M Kazarvisy,2014)

- نوارهای یک پارچه میکادار تقویت شده بوسیله مواد رزینی ترکیبی (و مواد رزینی ترمولاستیک)

۳-عایقهای نگهدارنده سیم پیچها : این شامل بستها و نگهدارنده ها بعلاوه بلوکهای مختلف سیم پیچها وگوه های شیارها و پرکننده ها می باشد. اینها از صفحات ورق ورق شده فشرده مانند Micarta و صفحات پلی استری تقویت شده به مواد شیشه ای . موارد مشابهی مانند مخلوط الیاف شیشه دار با مواد پلی استری و داکرون ترزیق شده بوسیله اپکسی رزین تشکیل شده اند.

۴-مواد عایقی پیچهای محکم کننده ورقه های هسته (Through Bolts**) :** این پیچها در طول هسته از زمین عایق شده و بوسیله تعدادی از لایه های ورقی نازک عایقی Fish paper پخته و بوسیله مواد شالاکی تقویت شده است . مهره های این پیچها از بدنه بوسیله واشرهای میکادار ایزوله شده و در واحدهای جدید از بوشینگها میکادار جهت افزایش بعد خزگی استفاده می شود.(Bill Andresen,2015)

۵-عایق ورقه های هسته الکتروموتور:ورقه های مستقل تدوین دهنده مجموعه هسته از هم دیگر عایق شده ، کلیه سطوح این ورقه های فولادی براساس عمر ماشین بوسیله ، آب شیشه و یا فسفات آلومینیوم عایق کاری می شوند.

۶-مواد عایقی رتورها : این قسمت نیز شامل موارد زیر می باشد:

۶-۱ کوئلها: کوئلهای روتور که در قسمت شیار قرار دارند بوسیله سلولهای قالب ریزی شده از موارد عایقی که حاوی مواد میکادار ومواد غیرآلی مانند ورقه های شیشه با چسب مناسب می باشند ایزوله می شوند. اما عایقهای بین کوئلها متشکل از میکا، مواد میکادار ، ملامین شیشه دار که داخل شیار گذا بوسیله موادهای با ضریب Resistivity پائینی جهت زمین کردن سطح کوئلها برای جلوگیری از تخلیه الکتریکی بین سطوح کوئلها و هسته همچنین قسمت بیرونی کوئل بوسیله مواد نیمه هادی با مقاومت بالا آغشته می شوند جهت جلوگیری از پدیده کرونا در این منطقه می باشند. این مواد همچنین برای قسمتهای زیررینگهای نگهدارنده نیز استفاده می شود.

۶-۲ عایقهای هادیهای تحریک و رینگهای لغزنده : رینگها و هادیها عموماً بوسیله صفحات ورق ورق شده میکا و یا از لوله های میکادار که با مواد رزینی تزریق شده ایزوله می شوند.

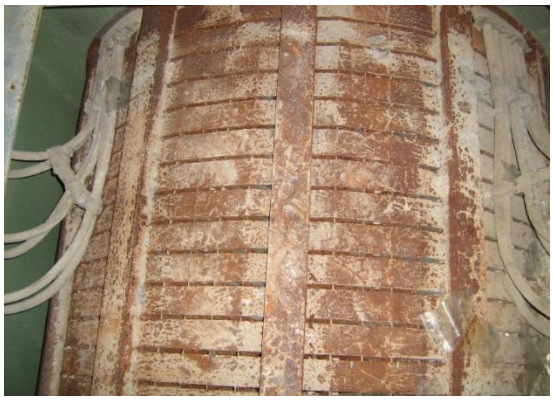
۷- عوامل کاهنده طول عمر عایقها:

۱-۷ پیری حـــرارتی ناشی از تاثیر حـــرارت در طول زمان: عایقهای الکتروموتورهایی که برای مدت طولانی از آنها بهره برداری می شوند در معرض دماهای بالا تولید شده واقع می شوند واین دماها روی طول عمر این عایقها موثر هستند و مخصوصاً اگر نوع خنک کنندگی الکتروموتور از نوع غیر مستقیم باشد چون دماهای حاصله باید ابتدا از این عایقها عبور کنند سپس بوسیله سیال خنک به بیرون رانده شوند . برعکس خنک کنندگی مستقیم که دما در تماس مستقیم با سیال خنک کن می باشد.

۱-۷ تلفات حرارتی در عایق عبارتست از:

$$VI\cos\theta = VI\sin\delta$$

یا $tg\delta$ $(V^2(2\pi fC$



براساس توصیه های IEEE درباره محدودیت دمای الکتروموتورها اگر افزایش دما استمرار داشته باشد به مسائل زیر احتمالاً می رسیم.

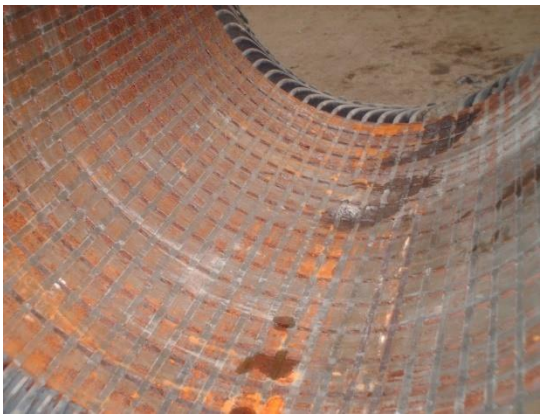
۱-۲-۷ خراب شدن عایقها تابعی از زمان و دامنه آن دما است .

۷-۲-۲ عایقها در معرض تنشهای مکانیکی واقع می شوند به علت انبساط وانقباض حاصله بین کوئلها واجرای محیط به آنها و مقدار این تنشها به مقدار دما وابسته است .(Asea Pamphelts,2017)

۷-۲-۳ گرم شدن بیش از حد بدلیل اضافه بار – دمای زیاد محیط – گرفتگی فیلترها ویا فضاهای تهویه داخل الکتروموتور.

۷-۲-۳-۱-اضافه بار : گرم شدن عایقها بدلیل اضافه بار ناشی از عدم مراعات منحنیهای مربوط به بارگیری و مخصوصاً منحنی قابلیت الکتروموتور،اشکالاتی در سیستم کنترل فن های خنک کننده آن.(Paula Fonseca,2014)

۷-۲-۳-۲-دمای زیاد محیط: مسئله بعدی گرم شده بیش از حد بدلیل افزایش دمای محیط ، دمای زیاد محیط روی راندمان خنک کننده ها تاثیر معکوس دارد مخصوصاً در فصل گرما که مصرف برق زیاد می باشد . گاهی در برخی از واحدهای که گرد و خاک زیاد می باشد فیلترهای هوای ورودی الکتروموتور در نزدیکی شفت بار نصب شده اند.(Noish,2016)



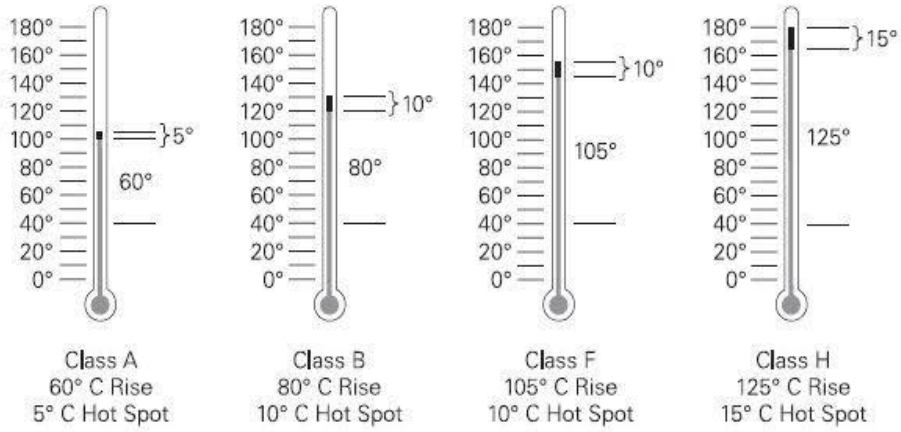
۷-۲-۳-۳ تماس بیش از حد با رطوبت: با در نظر نگرفتن تمیزی سطح کوئلها مساوی یا کمتر از درجه تشکیل شبنم باشد یک لایه رطوبتی روی سطح عایقی تشکیل می شود و این لایه احتمالا، مقاومت عایقی کوئلها را کم می کند.اگر سطح عایقی کثیف باشد این مساله بیشتر محسوس است تعداد زیادی از مواد عایقی کوئلها جاذب رطوبت می باشند و رطوبت را از هوای مرطوب جذب می کنند.(احمد غلامی۱۳۹۵)

۸- عایق بندی

انجمن بین المللی تولیدکنندگان تجهیزات الکتریکی (NEMA) عایق بندی موتورها را باتوجه به درجه حرارت موتور در محیطهای مختلف کاری در چهار کلاس A , B , F , H طبقه بندی نموده است :

موتورها عموما" در کلاس F و بندرت در کلاس A کار می کنند . قبل از شروع بکار موتور ، آنها تحت تاثیر دمای محیط اطراف خود قرار دارند که ما اصطلاحا" آن را دمای محیط " Temperature Ambient " می گوئیم .

در NEMA برای تمام کلاسهای عایق بندی دمای ابتدایی ۴۰ درجه سانتیگراد با یک رنج حرارتی بصورت زیر استاندارد شده است :



وقتی موتور استارت می خورد ، دما افزایش می یابد . هر کلاسی یک دمای مجاز مشخصی دارد . ترکیبی از دمای محیط و دمای مجاز معادل ماکزیمم دمای سیم پیچها خواهدبود . بعنوان مثال در کلاس F ، با فاکتور سرویس ۱ ، دما به اندازه ۱۰۵ درجه می تواند افزایش یابد . بنابراین داریم که : (Asea Brown Boveri,2016)

۱۰۵ + ۴۰ =۱۴۵

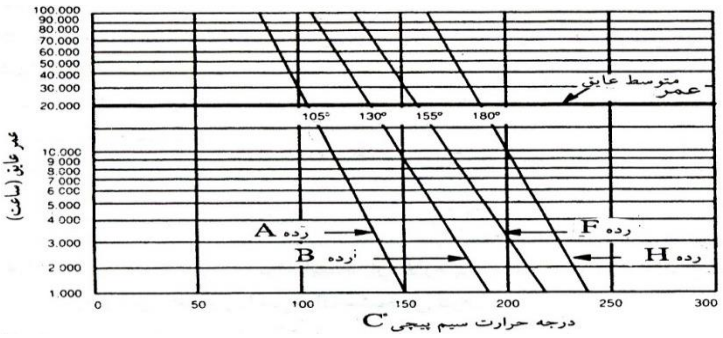
۹-Hot Spot : با یک بازه مجاز حرارتی (مثلا" ۱۰ درجه) گرمترین نقطه در مرکز سیم پیچ را با این نام می شناسیم . (محمد حسینی۱۳۹۵)

در کلاس F این بازه ۱۰ درجه است . بنابراین مرکز سیم پیچ دارای بیشترین دمای مجاز ۱۵۵ درجه خواهد بود . دمای کاری موتور در کارآیی و طول عمر کاری موتور بسیار مهم است . تا جائیکه ۱۰ افزایش دما از بالاترین حد مجاز باعث کاهش عمرعایق بندی موتور به اندازه ۵۰٪ می شود لذا نوع عایق مورد استفاده در موتور بستگی به درجه حرارت کار موتور دارد. (شیر محمدی۱۳۹۴)

موتور ها با درجه حرارت محیط و رده عایق مشخص میشوند.

رده(کلاس)	درجه حرارت ۲۰/۰۰۰ ساعت کار
A	۱۰۵°C
B	۱۳۰°C
F	۱۵۵°C
H	۱۸۰°C
حداکثر درجه حرارت محیط ۴۰°C است.	

- این جدول حداکثر درجه حرارت مجاز سیم پیچی استاتور را برای کار ۲۰۰۰۰۰ ساعت و حداکثر درجه حرارت محیط ۴۰°C می دهد. (John Cadict,2015)
- رده A انواع قدیمی است و رده B استاندارد جاری است
- رده H و F برای درجه حرارت بالاتر به کار می رود و اغلب توسط بسیاری از سازندگان موتور به صورت استاندارد در دسترس است.
- عمر متوسط عایق سریعاً با افزایش درجه حرارت کاهش می یابد موتوری که خنک کار می کند بمراتب عمر عایق بیشتری دارد. (علیرضا نوری۱۳۹۶)



منحنی۲عمر عایق بر حسب درجه حرارت(Victor Room,2016)

نتیجه گیری:

با توجه به توضیحات ارائه شده در مقاله فوق می توان اذعان نمود،چنانچه عوامل موثر ذکر شده در این مقاله را با دقت نظر انجام دهند،یقینا از کاهش عمر مواد عایقی جلوگیری و به افزایش راندمان و عمر الکتروموتور کمک شایانی خواهد کرد.

مراجع:

1)1پایش وضعیت الکتروموتور نوشته مهندس کیومرث محمودی۱۳۹۶

2)بررسی و مطالعه تستهای گازکروماتوگرافی و کنترل کیفی صنایع کشور نوشته محمد مرادی،احمد غلامی۱۳۹۵

3)روشهای نگهداری و تعمیرات در صنعت نوشته علیرضا نوری۱۳۹۶

4)نگهداری و تعمیرات نوشته دکتر شیر محمدی۱۳۹۴

5)برنامه ریزی سیستماتیک نظام نگهداری و تعمیرات در صنایع نوشته دکتر سید محمد حسینی۱۳۹۵

6) Application Guide for shunt Capacitors on industrial Distribution System at Medium Voltage Level,IEEE Transaction on Industry Appliction in Cement Plant.by:Victor P.Room.IEEE Transaction on IA,vol.IA-12,No4,July/August-2016 Electrical Engineering Handbook

7) Anibal T.De Almadia,PAULA FONSECA,&other , improving the penetration of Energy motors,university of

Electrical Enginee Coimbra,Department

8) IEEE C57. 104-2016. Guide for the interpretation of gases generared in oil-immered trsnformers.

9) Electrical Safety; National institute For Occupational Safety and Health (NIOSH); January 2015

10) ABB Power Technology Products,Distribution Transformers (2016).

11) Siemens Power Engineering Guide, Transmission and Distribution(2016).

12) American Electrical Hand book generared in oil-immered trsnformers.(2016).

13- ASEA Pamphelts No. 0K 00-101E and No. 188-3E April 2017

14-Testing of electrical insulating P0.M Tareev, P.M KAZARROVSKY (2014)