



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 تقریباً 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 نسبتاً کم قابل کاربرد میباشد.

1- قدرت عایقی

طبق تعریف ASA ماکزیمم گرادیان (شیب) پتانسیل که مواد میتوانند آن را بدون این که دچار 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 الکترودها. برای شکست عایقی نه تنها نیاز به ولتاژ کافی میباشد بلکه نیاز به جابجایی یک حداقل مقدار انرژی از درون عایق میباشد. قدرت عایقی با عوامل مختلف تغییر میکند. این عوامل شامل ضخامت نمونه، اندازه و شکل الکترودهای اعمال استرس ولتاژی، 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 شیمیایی مواد تحت اعمال ولتاژ. قدرت عایقی متریکال 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 کاملاً بیان گردد. (کیومرث محمودی ۱۳۹۶)

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 معمولاً 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)

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

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

۱-۱-۲-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.

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

۴-۱-۲-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 تزریقی 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 و گوه های شیارها و پرکننده ها می باشد. اینها از صفحات 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 تزریق 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 شالاکي تقویت شده است . مهره های این پیچها از بدنه بوسیله واشرهای میکادار ایزوله شده و در واحدهای جدید از پوشینگها 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:

۱-۶ کوئلها: کوئلهای روتور که در قسمت شیار قرار دارند بوسیله سلولهای قالب ریزی شده از موارد عایقی که حاوی مواد میکادار و مواد 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 غذا 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.

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



دانشگاه حکیم

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



۷- عوامل کاهنده طول عمر عایقه‌ها:

۷-۱ پیری حرارتی ناشی از تاثیر حرارت در طول زمان: عایقه‌های الکتروموتورهایی که برای مدت طولانی از آنها بهره برداری می شوند در معرض دماهای بالا تولید شده واقع می شوند و این دماها روی طول عمر این عایقه‌ها موثر هستند و مخصوصاً اگر نوع خنک کنندگی الکتروموتور از نوع غیر مستقیم باشد چون دماهای حاصله باید ابتدا از این عایقه‌ها 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.

۷-۱ تلفات حرارتی در عایق عبارتست از:

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

$$\text{یا } \text{tg}\delta (V^2(2\pi fC$$

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

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

۷-۲-۸ عایقه‌ها در معرض تنشهای مکانیکی واقع می شوند به علت انبساط و انقباض حاصله بین کوئلها و اجزای 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 و یا فضاهای تهویه داخل الکتروموتور.

۷-۲-۳-۱- اضافه بار : گرم شدن عایقه‌ها 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

شفط بار نصب شده اند. (Noish,2016)

۳-۳-۲-۷ 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 غلامی ۱۳۹۶)

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 :

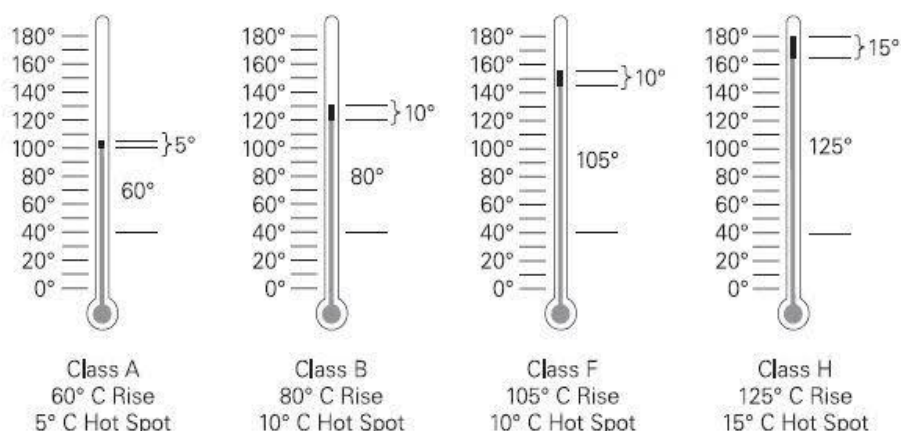
موتورها عموماً در کلاس F و بندرت در کلاس A کار می کنند . قبل از شروع بکار موتور ، آنها تحت تاثیر دمای محیط اطراف خود قرار دارند که ما اصطلاحاً آن را دمای محیط " Temperature Ambient " می گوئیم .

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

$$۱۰۵ + ۴۰ = ۱۴۵$$



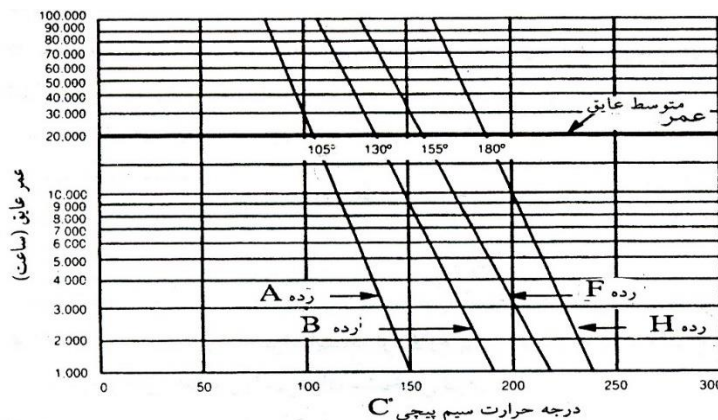
Hot Spot-۹: با یک بازه مجاز حرارتی (مثلاً ۱۰ درجه) گرمترین نقطه در مرکز سیم پیچ را با این نام می‌شناسیم. (محمد حسینی ۱۳۹۵)

در کلاس F این بازه ۱۰ درجه است. بنابراین مرکز سیم پیچ دارای بیشترین دمای مجاز ۱۵۵ درجه خواهد بود. دمای کاری موتور در کارایی 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٪ می‌شود لذا نوع عایق مورد استفاده در موتور بستگی به درجه حرارت کار موتور دارد. (شیر محمدی ۱۳۹۶)

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 ۲۰۰۰۰ ساعت و حداکثر درجه حرارت محیط ۴۰°C می‌دهد. (John Cadict, 2015)
- رده A انواع قدیمی است و رده B استاندارد جاری است
- رده F و H برای درجه حرارت بالاتر به کار می‌رود و اغلب توسط بسیاری از سازندگان موتور به صورت استاندارد در دسترس است.
- عمر متوسط عایق سریعاً با افزایش درجه حرارت کاهش می‌یابد موتوری که خنک کار می‌کند بمراتب عمر عایق بیشتری دارد. (علیرضا نوری ۱۳۹۶)





منحنی ۲ عمر عایق بر حسب درجه حرارت (Victor Room, 2016)

نتیجه گیری:

از کار افتادگی دستگاههای صنعتی بسیار پر هزینه است، بدلیل اینکه اگر قسمتی از فرآیند از کار بیفتد کل فرآیند متوقف خواهد شد. نگهداری پیشگیرانه موتور با یک مبنای منظم می تواند کمک کند که از خرابی موتور جلوگیری شود و در نتیجه از توقف ناخواسته خط تولید جلوگیری خواهد شد. لذا بایستی جهت جلوگیری از خسارت به این تجهیزات با اهمیت، یک سری تستهای روتین و البته غیرمخرب را در بازه های تعیین شده انجام داد و در سوابق خود بایگانی نمود تا در صورت لزوم بهره برداریهای لازم را انجام نمود. بطور خلاصه میتوان هدف از انجام این آزمایشات در الکتروموتورهای فشار قوی، شناسایی وضعیت های ذیل می باشد :

الف: شناسایی و کنترل به موقع فرسایش قبل از بروز خسارات سنگین

ب: برآورد زمان تعمیر و برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات

ج: برآورد عمر مفید و جلوگیری از تعویض مواد و قطعات قبل از پایان عمر آنها

د: ریشه یابی علل فرسایش برقی و همچنین قطعات و اجزا و نحوه اثرگذاری آنها

ه: مقایسه و تحقیق در مورد قطعات و شناسایی خرابی های مزمن با دوره های گذشته

و: بهینه سازی برنامه های نگهداری و تعمیرات در سیستم های مختلف

ز: حفاظت ماشین های حساس و گرانتیمت در مقابل افزایش ناگهانی دامنه ارتعاش به علت خرابی پیش بینی نشده.

ک: مراقبت وضعیت ارتعاشی جهت کنترل داشتن روند تغییرات دامنه ارتعاشی و پیش گویی زمان خرابی الکتروموتور.

ل: عیب یابی توسط آنالیزهای فرکانسی، فازی، توقف، راه اندازی، آبشاری و ... جهت تعیین بیش از ۹۰ درصد عیوب ماشین های دوار از جمله: نابالانسی، ناهمراستایی، خمش شافت، خرابی یاتاقان، عیوب الکتریکی، مالش روتور و پره ها، خرابی چرخ دنده ها، رزونانس، عیوب تسمه ها و ...

م: رفع عیب بالانس روتور در محل

ن: برنامه ریزی PM کلیه اطلاعات اتفاقات پیش آمده برای ماشین، هشدارها، توقف ها، عیب یابی ها، تعمیرات، قطعات تعویضی، مدت زمان برای کارکرد قطعات و ... به صورت تاریخچه قابل دستیابی است.



مراجع:

- (1) پایش وضعیت الکتروموتور نوشته مهندس کیومرث محمودی ۱۳۹۶
- (2) بررسی و مطالعه تستهای گاز کروماتوگرافی و کنترل کیفی صنایع کشور نوشته محمد مرادی، احمد غلامی ۱۳۹۶
- (3) روشهای نگهداری و تعمیرات در صنعت نوشته علیرضا نوری ۱۳۹۶
- (4) نگهداری و تعمیرات نوشته دکتر شیر محمدی ۱۳۹۷
- (5) برنامه ریزی سیستماتیک نظام نگهداری و تعمیرات در صنایع نوشته دکتر سید محمد حسینی ۱۳۹۵
- 6) Application Guide for shunt Capacitors on industrial Distribution System at Medium Voltage Level, IEEE Transaction on Industry Application in Cement Plant. by: Victor P. Room. IEEE Transaction on IA, vol. IA-12, No. 4, July/August-2016 Electrical Engineering Handbook
- 7) Anibal T. De Almadia, PAULA FONSECA, & other, improving the penetration of Energy motors, university of Coimbra, Department of Electrical Engineering
- 8) IEEE C57. 104-2016. Guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers.
- 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 Handbook generated in oil-immersed transformers. (2016).
- 13- ASEA Pamphlets No. 0K 00-101E and No. 188-3E April 2017
- 14- Testing of electrical insulating P.O.M Tareev, P.M KAZARROVSKY (2015)