



انواع حفاظت‌های مکانیکی و الکتریکی الکتروموتور های فشار قوی

امیرنظام آذرشب

کارشناس مهندسی برق از مجتمع صنعتی سیمان تهران

چکیده:

الکتروموتورها یکی از تجهیزات بسیار گرانبه‌ای نسبت به سایر دستگاه‌های موجود در صنعت می‌باشند. مهمترین و عمده‌ترین وسیله تولید انرژی مکانیکی در تأسیسات صنعتی و مراکز تولیدی، موتورهای الکتریکی تشکیل می‌دهند. تأسیسات و مراکز صنعتی بدون استفاده از موتورهای الکتریکی قابل کار نمی‌باشند. بطور متوسط در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد از برق تولیدی کشور را الکتروموتورها مصرف می‌کنند. بنابراین لازم است بررسی دقیقی انجام شود تا برای کار مورد نظر موتوری مناسب تهیه و نصب گردد و در شناخت عوامل موثر در حفاظت الکتروموتورها بررسی دقیقتری را به عمل آورد و پدیده‌هایی را که موجب صدمه دیدن آنها می‌گردند را به حداقل رساند. و با آشنایی با روشهای حفاظت مکانیکی الکتروموتورهای فشار قوی شامل ترموگرافی، بازرسی فراصوتی، آنالیز روغن، رادیوگرافی استفاده حداکثری را هم از نظر عمر و هم از نظر راندمان در خطوط تولید داشته باشیم. لذا به عبارت دیگر می‌توان گفت که انتخاب عملیات نوع حفاظت یک الکتروموتور علی‌الخصوص فشار قوی، به شدت به شرایط راه اندازی موتور و مخارج و سرمایه گذاری های مرتبط با طول عمر مفید موتور بستگی دارد.

واژگان کلیدی: ترموگرافی، بازرسی فراصوتی، آنالیز روغن، رادیوگرافی - الکتروموتور - بازده - اورسایز - اضافه بار - گشتاور



مقدمه:

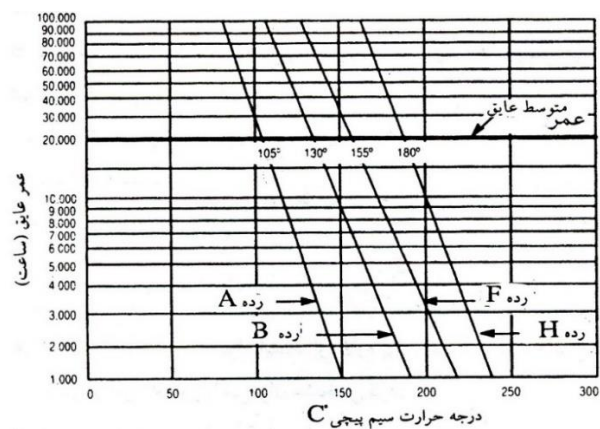
حفاظت الکتریکی و مکانیکی ماشینهای الکتریکی شامل انواع الکتروموتورهای و ژنراتورهای جریان مستقیم و جریان متناوب و ترانسفورماتورها نقش بسیار عمده ای در کاهش هزینه های ناشی از توقف خط تولید و مقدمه تعمیرات و نگهداری ماشینهای الکتریکی شامل انواع الکتروموتورهای و ژنراتورهای جریان مستقیم و جریان متناوب و ترانسفورماتورها نقش بسیار عمده ای در کاهش هزینه های ناشی از توقف خط تولید و آسبهای شدید ناشی از ضعف تدریجی قسمتهای مختلف ساختمان این تجهیزات دارد. هزینه های ناشی از توقف خط تولید در صنایع عظیم همانند نیروگاهها، صنایع نفت و فولاد و... بسیار قبل توجه میباشد و درصد قابل توجهی از علت های توقف این خطوط ناشی از آسیب دیدگی انواع ماشینهای الکتریکی به کاربرده شده در این صنایع میباشد. لذا به کارگیری فرآیندهای تعمیر و نگهداری، بازرسیها و آزمایشات مختلف دوره ای برای ارزیابی وضعیت این تجهیزات و انجام عملیات پیشگیرانه بر روی آنها به کار گرفته میشوند. ضعفها و نقایص جزئی در انواع ماشینهای الکتریکی که با کمترین هزینه و زمان قابل بر طرف شدن میباشد به سرعت رشد پیدا میکنند به گونه ای که حتی باعث غیر قابل استفاده و تعمیر شدن این تجهیزات میگردد. با توجه قیمتهای بسیار هنگفت در توانهای بالا لزوم ردیابی و برطرف سازی این نقایص ضروری میباشد. لذا واجب است برای حفظ تولید و نگهداری از این موتورها که سرمایه های هنگفتی برای خرید آن میشود کمال دقت را داشته باشیم. و اطلاعات کافی و به روزی را هم در جهت مکانیکی و هم الکتریکی آن داشته باشیم.

۱- عوامل تاثیر گذار در نوع حفاظت الکتروموتور فشار قوی:

۱-۱ توان ورودی (منظور قدرت الکترو موتور با واحد کیلو وات یا اسب بخار)



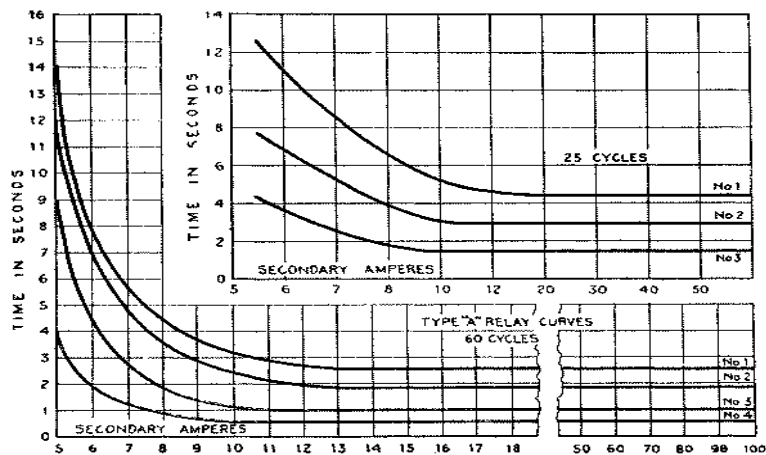
۱-۱-۱ نوع بار : نوع بار بدین معنی میباشد که انتقال بین موتور و بار، از طریق کوپلینگ کلاچ ، واریاتور آرایش محور ها یا بعبارتی دیگر موتور محرک نوع و مشخصات بطور دقیق مشخص گردد چرا که گرم شدن بدنه یک الکتروموتور بدلیل عدم آشنایی از نوع بار میتواند باعث اضافه بار ناشی از عدم مراعات منحنیهای مربوط به بارگیری و مخصوصاً منحنی قابلیت الکتروموتور، شده و در نتیجه باعث کاهش عمر الکتروموتور و افزایش تعمیرات آن را در پی خواهد داشت. در جدول ذیل بطور مثال عمر عایق یک الکتروموتور را در اثر حرارت و دیگری منحنی کار ۳ دستگاه الکتروموتور در بارهای مختلف را به تصویر میکشد.



Size	Motor Type	Load			
		Full	75%	50%	25%
100-hp	Efficient	95.3	95.6	95.2	92.7
	Standard	92.9	92.5	91.2	86.5
	Spread	2.4	3.1	4	6.3
100-hp	Efficient	90.8	91.6	91.1	86.8
	Standard	87	87.9	86.6	79.9
	Spread	3.8	3.7	4.5	6.9
100-hp	Efficient	84.7	84.8	82.6	74.6
	Standard	77.2	74.9	69.2	54.7
	Spread	7.5	9.9	13.4	19.9

۲-۱ 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 . در صنایع سیمانی که گرد و خاک زیاد می باشد فیلترهای هوای ورودی الکتروموتور در نزدیکی شفت بار بایستی نصب شوند. تا از ورود آن به داخل موتور جلوگیری شود.

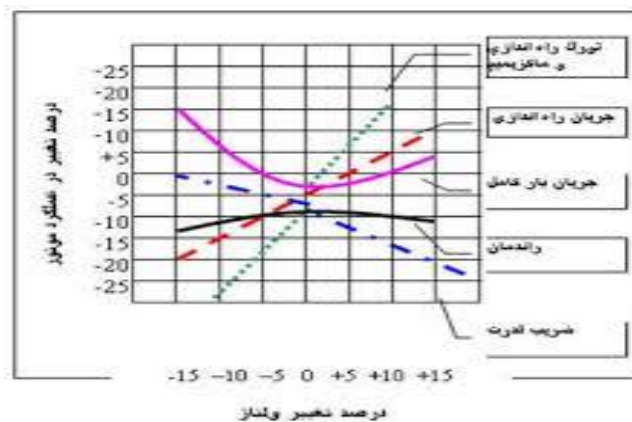




۲- شرایط معمولی کار در حفاظت الکتریکی الکتروموتور:

۱-۲ اندازه گشتاور و سرعت مورد نیاز (معمولاً بر حسب واحد نیوتن متر سنجیده می شود):

به موتورهایی که در شرایط معمول سرویس کار می کنند مقادیر نامی اعمال می شود: باید بررسی دقیقی صورت پذیرد تا در صورت امکان، موتورهای با ظرفیت نامی بیش از نیاز مصرف، تعویض شوند. همچنین حجم موتور را گشتاور تعیین می کند. ماشین های با گشتاور مساوی، ابعادشان نیز تقریباً با یکدیگر برابر است. موتورهای پرسرعت ابعاد کوچکی دارند، لذا از موتورهای با قدرت مساوی و کم سرعت، سبک ترند. موتور بهتر است در شرایط نامی کار کند. در غیر اینصورت بازده و توان موتور کمتر خواهد شد. دو موتور که دارای توان خروجی یکسان باشند، آن موتور که سرعت بیشتری دارد بازده و ضریب توانش بیشتر خواهد بود. منحنی ذیل نحی تغییرات ولتاژ را بر عملکرد موتور نشان می دهد.



بدیهی است این عمل باعث بهبود راندمان و اصلاح ضریب توان سیستم می شود. در موتورهای الکتریکی، راندمان با کاهش بار، کاهش می یابد. لرزش مکانیکی

و نرم کار نکردن موتور می تواند نشانه میزان نبودن کوپلینگ باشد. کشش بیش از حد تسمه باعث ایجاد فشار روی یاتاقان ها و در نتیجه ساییدگی و شکستن



یاتاقان‌ها و محور می‌شود. بویژه این عمل ممکن است در موتورهایی که اینرسی زیاد دارند رخ دهد. راه‌اندازی مکرر موتورهای القایی می‌تواند به عایق سیم‌پیچ

آسیب برساند. استاندارد mg1 (NEMA) شرایط محیطی را چنین مشخص می‌کند. (Asea Brown Boveri, 2016)

۲-۲ درجه حرارت محیط اطراف در حدود صفر یا 40°C و وقتی از آب خنک کن استفاده می‌شود از 10°C تا 40°C است.

۳-۲ ارتفاع از سطح دریا از ۳۳۰۰ فوت (۱۰۰۰ متر) نباید تجاوز کند. (۵۴-۱۴- mg1)

۴-۲ نصب موتور روی سطح محکم (صلب) صورت می‌گیرد.

۵-۲ نصب موتور در محلی باشد و یا در محفظه‌ای قرار گیرد برای تهویه ماشین تراحم ایجاد نکند.

۳- شرایط غیر معمول حفاظت مکانیکی الکتروموتورهای فشار قوی:

۱-۳ اگر موتور در شرایط غیر معمول کار می‌کند باید با سازنده موتور قبل از خرید آن در مورد حفاظت‌های مکانیکی آن مشورت کرد.

۲-۳ استاندارد NEMA نیز نمونه شرایط کار غیر معمول را نیز مشخص کرده است:

۱-۲-۳ موتور در معرض عوامل زیر می‌باشد:

۱-۱-۲-۳ گرد و خاک احتراق پذیر، قابل انفجار، ساینده یا هادی الکریسته.

۲-۱-۲-۳ : شرایط محیط کار خیلی کثیف جایی است که آلودگی در شرایط عادی تهویه تراحم ایجاد می‌کند.

۳-۱-۲-۳ : گازهای شیمیایی یا قابل احتراق و انفجار

۴-۱-۲-۳ : تشعشع مواد رادیو اکتیو

۵-۱-۲-۳ : بخار آب یا گاز نفت نمکدار

۶-۱-۲-۳ : محل مرطوب یا خیلی خشک، با تشعشع حرارت، هجوم حشرات یا هوای مناسب برای رشد قارچ‌ها.

۷-۱-۲-۳ : ضربه غیر عادی، ارتعاش یا بار مکانیکی از منابع خارجی

۸-۱-۲-۳ : نیروی محوری یا جانبی غیر عادی وارده به محور موتور. (John Cadict, 2015)





۴- کار موتور در اطاق با تهویه بد، در گودال یا در محل شیبدار به غیر از بازدیدهای روزانه برای وضع کلی و بهره‌برداری این موتورها پیشنهاد می‌شود یک برنامه بازدید زمانبندی شده تعیین شود و محل‌های بازدید باید مطابق زیر باشد:

۱- نظافت کلی ۲- عایق و سیم‌پیچ ۳- یاتاقان‌ها
قسمت خارج و داخل موتور نباید به روغن گریس آغشته شود و از تجمع گرد و غبار جلوگیری شود. بر اثر تجمع گرد و غبار و یا بخار روغن جلوی هواکش‌ها گرفته می‌شود و باعث افزایش گرمای سیم‌پیچ می‌شود. (Karen Bartleson, 2016)

۷- عوامل فرسودگی و کارکرد نامناسب الکتروموتورهای فشار قوی:

۱. گرد و غبار و آلودگی محیط کار
۲. رطوبت
۳. بخار روغن
۴. افزایش درجه حرارت
۵. وجود نمک
۶. بخار سیلیکن
۷. عدم روغن کاری منظم
۸. روغن کاری بیش از اندازه (بر اثر نفوذ روغن به درون موتور و تماس با سیم‌پیچ‌های آرمیچر، عایق‌بندی ممکن است آسیب ببیند)
۹. روغن کاری کم (بکاربردن روغن کم باعث خوردگی بلبرینگ‌ها، تماس روتور و استاتور، افزایش دمای بلبرینگ و گیرپاژ کردن موتور می‌شود)
۱۰. اصطکاک یاتاقان‌ها و اصطکاک هوا (باعث گردش آرمیچر)

۱۲- حفاظت مکانیکی الکتروموتورهای فشار قوی:

بعد از نصب موتور برای جلوگیری از آسیب رسیدن به دستگاه و همچنین جلوگیری از تعمیرات زود هنگام بایستی یکسری از آزمایشات و تست‌های غیرمخرب استفاده کرده و پارامترها و کمیت‌های مورد نیاز اندازه‌گیری گردد. با دقت در روند تغییر پارامترها و کمیت‌ها به سلامت، شروع خرابی و یا صدمه دیدگی کلی قطعه و دستگاه پی می‌بریم. جهت مشخص کردن و انتخاب یکی از روش‌های مراقبت وضعیت، ابتدا خرابی عمده و اصلی کثیرالوقوع دستگاه را مشخص کرده، سپس پارامترها و کمیت‌هایی که می‌توان این نوع عیوب را اندازه‌گیری کرد تعیین می‌کنیم، آنگاه مرحله بعدی تعیین ابزارآلات، حسگرها، آزمایشات و مشخص کردن روش‌های مراقبت وضعیت جهت تعیین این کمیت‌ها و پارامترها می‌باشد. (P.M Kazarvisy, 2014)



۱۲-۱ آنالیز روغن (Oil Analysis)

در این روش با نمونه گیری روغن از دستگاه در حال کار و انجام انواع تست ها و آزمایشات شیمیایی ، فیزیکی ، فیزیکی و شیمیایی و تست روی میز ، از سلامت و خرابی دستگاه و سطح آلودگی روغن آگاه می شویم . روش آنالیز روغن در کلیه دستگاه ها و ماشین آلات که روغن عامل روانساز و جداکننده قطعات متحرک را بعهده دارد ، قابل بهره گیری می باشد. این روش جهت تشخیص به موقع عیوب جعبه دنده ها ، کمپرسورها ، فن ها ، پمپ ها ، دمنده ها و سیستم هیدرولیک نیز کاربرد دارد. (Bill Andresen, 2015)

۱۲-۲ آنالیز ارتعاشات (Vibration Analysis)

ارتعاشات عموماً جزء جدانشدنی از یک الکتروموتور فشار قوی می باشد و به مرور در اثر کارکرد و استهلاک الکتروموتور ، اجزا آن به تدریج سائیده شده ، لقی های آن زیاد شده و دامنه ارتعاشات آن افزایش می یابد . در آنالیز ارتعاشات پس از مشخص کردن و علامت گذاری نقاط حساس دستگاه و با استفاده از ابزار اندازه گیری ارتعاشات ، اطلاعات اولیه جهت تعیین وضعیت فعلی ماشین جهت جمع آوری اطلاعات استفاده می شود . بعد از این مرحله ، اطلاعات از دستگاه اندازه گیری ارتعاشات به کامپیوتر جهت بررسی ، مقایسه و آنالیز فرکانس و تعیین وضعیت مورد نظر و مشخص کردن عیوب موجود در ماشین منتقل می شود . (Victor Room, 2016)



نیروهای ارتعاشی سبب تشدید استهلاک ماشین می شوند و کلیه عیوبی که در یک ماشین دوار اتفاق می افتد از جمله عدم بالانس (Unbalancing) ، ناهمراستایی (Misalignment) ، خمیدگی شافت ، لقی بلبرینگ ، لقی اجزاء ، شکستگی ها ، عیوب الکتریکی ، رزونانس و ... همگی در ایجاد ارتعاشات نقش دارند . بنابراین آنالیز ارتعاشات در کلیه دستگاه ها که عامل ارتعاش نقش مهمی در کارکرد و عملکرد آنها دارند ، قابل استفاده می باشد . با استفاده از ابزار اندازه گیری ارتعاشات می توان دامنه (Amplitude) ، فرکانس (Frequency) ، سرعت (Velocity) و شتاب (Acceleration) ارتعاشات را اندازه گیری و تحت مراقبت قرار داد.

۱۲-۳ ترموگرافی یا ترموویژن (Infranced Thermography)

عملکرد هر دستگاه همواره با انتشار گرما همراه می باشد . این گرما می تواند ناشی از فرآیندهای تبدیل انرژی مثل احتراق ، گرمایش الکتریکی ناشی از عملکرد نیروهای اصطکاک و یا تنش های مکانیکی باشد . انرژی آزاد شده پس از رسیدن به سطح دستگاه از طریق تشعشع و جابجایی آزاد می شود . کلیه سطوح بسته به میزان درجه حرارتشان دارای یک نرخ تشعشع در ناحیه مادون قرمز می باشند. این تشعشع برای چشم انسان نامرئی بوده که از سیستم ترموویژن جهت مرئی کردن آن استفاده می گردد.



سیستم ترموویژن در محل‌ها و دستگاه‌هایی که عامل گرما می‌تواند فاکتور مهمی در بازگویی مشخصات دستگاه باشد، قابل بهره‌برداری است. در حال حاضر این سیستم بطور گسترده‌ای در شبکه‌های برق (تولید، انتقال و توزیع)، ماشین‌های الکتریکی، ترانسفورماتورها، ژنراتورها، رله‌های الکتریکی، بریکرهای قدرت، شافت و یاتاقان و کویلینگ فن‌های الکتریکی در حال استفاده می‌باشد. (Paula Fonseca, 2014)

۴-۱۲ بازرسی فراصوتی (Ultrasonic Inspection)

در این روش با ارسال و بازتاب امواج فراصوتی می‌توان خرابی و محل آنها را مشخص نمود. در تست فراصوتی این روش محدودیت جنس و ضخامت وجود ندارد. در این روش یک دستگاه نوسان ساز، نوسانهای الکتریکی با فرکانس های 20KHZ-20MHZ تولید کرده که این فرکانس برحسب حساسیت و نفوذ امواج در قطعه انتخاب می‌شود. برای داشتن حساسیت بالاتر، از فرکانس‌های بالاتر و برای نفوذ بیشتر از فرکانس‌های پایین‌تر (طول موج بالا) استفاده می‌شود. التراسونیک براساس شرایط و محل تست در دو حالت تماس با دستگاه (Contact) و غیرتماس با دستگاه (Non - Contact) قابل بهره‌برداری می‌باشد. در حالت تماسی به منظور نفوذ امواج در قطعه از یک پروب (Prob) که از کریستال پیزوالکتریک می‌باشد و وظیفه تبدیل امواج الکتریکی به مکانیکی را بهعهده دارد، استفاده می‌شود. در حالت غیر تماسی از پروب دیگری که دارای حساسیت سه نقطه‌ای و یا هفت نقطه‌ای است، استفاده می‌شود. از این پروب برای عیب‌یابی المان تابلوهای برق و دکل‌های فشار قوی استفاده می‌شود که برای مورد آخر اغلب از بشقابک گیرنده بر روی دستگاه استفاده می‌شود. در حالت کلی روش التراسونیک براساس محاسبه میزان موج برگشتی می‌باشد. در این حالت پروب نقش فرستنده و گیرنده موج را ایفا می‌کند. موج برگشتی به موج الکتریکی تبدیل شده و به گوش بازرس و یا اسیلوسکوپ می‌رسد. در حالت استفاده از گوشی، براساس تغییرات شدت صوت محل عیب مشخص می‌گردد. در حالت اسیلوسکوپ، صفحه نمایش دارای دو محور شدت موج و فاصله می‌باشد. در فاصله صفر (سطح قطعه) شدت موج حداکثر بوده و هرچه فاصله موج از سطح بیشتر شود، شدت موج کاهش یافته و در انتهای قطعه منعکس می‌شود و در نهایت موج جدیدی با شدت کمتر بوجود می‌آید. فاصله بین دوپیک، ضخامت قطعه خواهد بود. در صورتیکه یک نقص مثل ترک و یا حفره در قطعه وجود داشته باشد، در اثر برخورد موج، مقداری از آن منعکس شده و بقیه از آن عبور می‌کند. بنابراین دو انعکاس در اسیلوسکوپ که ناشی از نقص در قطعه و انتهای قطعه می‌باشد، تشکیل می‌شود. روش بازرسی التراسونیک جهت تشخیص سایش در یاتاقانها، تشخیص نشتی در سیستم‌های هیدرولیک، ترک یابی ریل‌ها و قطعات، تست آب بندی در مبدل‌های حرارتی، بویلرها، کندانسورها، لوله‌ها، تست و عیب‌یابی المانهای برقی و تابلوها، دکل‌های برق فشار قوی قابل استفاده می‌باشد.

۱۲-۵ رادیوگرافی X (X-Ray)

در این روش با استفاده از اشعه X ترک، شکاف و هرگونه ضعف در قطعات مشخص می‌شود. روش X-Ray مانند روش قبلی جهت بازرسی کلیه سطوح مشکوک به ترک قابل استفاده می‌باشد.

۱۲-۶ زمان کاهش سرعت در هنگام توقف ماشین

RDT (Run Down Time)

محور همه ماشین‌های دوار پس از قطع جریان بسوی توقف میل پیدا می‌کند که این خاصیت پدیده کاهش سرعت ماشین (Run Down Phenomena) نامیده می‌شود. مدت زمان این پدیده به زمان کاهش سرعت در هنگام توقف ماشین (Run Down Time) معروف می‌باشد. این روش یک تکنیک بسیار مفید در تشخیص وضعیت یاتاقان‌ها و بلبرینگ‌ها می‌باشد. هرگاه زمان کار ماشین طولانی باشد ولی زمان کاهش سرعت و توقف ماشین کاهش پیدا کند، حاکی از اشکال در ماشین و یاتاقان‌ها و بلبرینگ‌های آن می‌باشد که سبب ایجاد اصطکاک و توقف سریعتر ماشین می‌گردد. (Noish, 2016)



۱۳- ابزارآلات و حسگرهای لازم جهت کنترل نمودن وضعیت یک الکتروموتور نصب شده در کار:

در روش های مدرن مراقبت وضعیت عمده توجه و علاقه مدیران و مهندسان به سمت نصب سیستم های On-line در الکتروموتور معطوف گشته است . علت این امر کاهش هزینه ها و زمان تعمیرات ، افزایش عمر دستگاه ها و افزایش قابلیت اطمینان سیستم ها می باشد. بطور کلی مراحل کار یک سیستم مراقبت وضعیت On-line را می توان به سه قسمت تقسیم بندی نمود:

۱-۱۳ سنسورها (Sensors)

این المانها وظیفه نمونه برداری و تعیین مقدار پارامترهای مختلف مورد نیاز را بعهده دارند .

۲-۱۳ ثبت کننده ها (Recorders)

این قسمت اطلاعات دریافتی از سنسورها را بایگانی و ذخیره می کنند و از آن به عنوان سابقه برای تحلیل دستگاه و سیستم استفاده می شود . این بخش در حقیقت نقش یک بانک اطلاعاتی را برای سیستم بعهده دارد .

۳-۱۳ تحلیل گر (Analyzer)

در این بخش اطلاعات موجود مورد پردازش قرار گرفته و وضعیت دستگاه و سیستم به اپراتور گزارش می گردد.

یکی از مهمترین مباحث و قسمت ها در کارایی یک سیستم مراقبت وضعیت On-line انتخاب صحیح و مناسب پارامترهای اندازه گیری می باشد .

جریان ، توان ، درجه حرارت آب ، روغن ، فشار روغن ، دبی آب ، اندازه گیری کیفیت روغن ، ارتعاشات نمونه ای از پارامترها جهت اندازه گیری پیوسته و انجام سیستم مراقبت وضعیت On-line می باشد . (Asea Pamphelts,2017)

نتیجه گیری: با توجه به توضیحات ارائه شده در فوق می توان اذعان نمود، چنانچه موارد فوق الذکر رعایت گردد نه تنها راندمان بهره برداری از الکتروموتور بالا رفته، بلکه عمر آن نیز طولانی خواهد شد. البته اگر بهره برداری و گروههای تعمیراتی آشنایی هر چه بیشتری نسبت به انتخاب صحیح الکتروموتور و هم نحوه حفاظت الکتریکی و مکانیکی آن با توجه به دستورالعملهای ارایه شده در الکتروموتورها را داشته و عوامل موثر ذکر شده در این مقاله را مد نظر قرار دهند، یقیناً از کاهش عمر الکتروموتور جلوگیری خواهد شد. بنابراین لازم است در شناخت بیشتر عوامل محیطی کوشش نمود و این امر موجب خواهد شد، تا از نظر انرژی و هزینه تمام شده تولید نیز صرفه جویی قابل ملاحظه ای را داشته باشیم.



- 1) 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,No4,July/August-2016 Electrical Engineering Handbook
- 2) Anibal T.De Almadia,PAULA FONSECA,&other , improving the penetration of Energy motors,university of
Electrical Enginee Coimbra,Department
- 3) IEEE C57. 104-2016. Guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed trsnformers.
4- Electrical Safety; National institute For Occupational Safety and Health (NIOSH); January 2015
- 5) ABB Power Technology Products,Distribution Transformers (2016).
- 6) Siemens Power Engineering Guide, Transmission and Distribution(2016).
- 7) American Electrical Hand book generated in oil-immersed trsnformers.(2016).
- 8- ASEA Pamphelts No. 0K 00-101E and No. 188-3E April 2017
- 9-Testing of electrical insulating P0.M Tareev, P.M KAZARROVSKY (2014)