

مروری بر اصول تعمیرات پیشگیرانه ماشینهای الکتریکی در دوره انبارداری طولانیمدت

اباذر دهقانپور¹

¹ کارشناس برق دفتر مهندسی و برنامه ریزی نیروگاه مشهد

چکیده

ماشینهای الکتریکی چرخان دارای کاربردهای فراوانی بوده و در بخشهای مختلفی از صنایع مورد استفاده قرار میگیرند. بنا به نوع کاربرد، ماشین الکتریکی ممکن است برای مدت زمان چند هفته، ماه و یا سال تا زمان نصب و شروع بهرهبرداری در وضعیت انبارداری قرار گیرد. طی این دوره احتمال دارد در شرایط الکتریکی و مکانیکی آنها تغییراتی رخ دهد. فاکتورهای زیادی شامل دمای محیط، رطوبت، آلودگی، عوامل خوردگی، گرده های نمک، لرزش و ... در این خرابها موثر میباشند. مهمترین تاثیراتی که در اثر انبارداری طولانی مدت روی ماشینهای الکتریکی رخ میدهد شامل خوردگی در بخشهای مکانیکی، آسیب بیرینگها و کاهش مقاومت عایقی می باشد. این خیلی مهم است که بهره بردار ماشین الکتریکی نسبت به انجام تعمیرات پیشگیرانه در طی دوره انبارداری همانند دوره بهرهبرداری اقدام نمایند. چندین پروسه و اندازهگیرپارامتر، باید جزء پلان نگهداری برای انبارداری و انبارکردن ماشینهای الکتریکی باشد. ما در این مقاله در خصوص مشکلاتی که ممکن است طی نگهداری و انبارداری طولانی مدت ماشینهای الکتریکی چرخان سباز متوسط رخ دهد صحبت میکنیم همچنین در خصوص روشهایی که ممکن است باعث شود این مشکلات رخ ندهد و یا آسیب کمتری به الکتروموتور وارد کند صحبت خواهیم کرد. لازم به ذکر است ماشینهای الکتریکی سباز متوسط شامل ماشینهایی با اندازه فریم IEC2801-125 و فریم با سباز 44 NEMA می باشند.

واژه های کلیدی

ماشینالکتریکی، بیرینگ، مقاومت عایقی، اندیس پلاریزاسیون

مقدمه

به طور کلی دوره انبارداری طولانی مدت زمانی تعریف میشود که یک ماشین الکتریکی نیاز باشد برای مدت زمان بیشتر از دو ماه متوقف باشد. این توقف ممکن است قبل از نصب (دوره انبارداری) و یا بعد از نصب ماشین الکتریکی و بنا به دلایل زیر اتفاق بیفتد[1]:

الف: پیشبینی و تامین ماشینهای الکتریکی رزرو به منظور جلوگیری از توقفهای طولانیمدت ناشی از تعمیرات و یا تهیه ماشین جایگزین
ب: توقف طولانی مدت به دلیل انجام تعمیرات-اساسی

ج: فراهم نشدن شروع دوره بهرهبرداری از ماشینهای الکتریکی

د: وجود ماشین به صورت آماده به کار در پروسه های صنعتی مانند نیروگاهها، پالایشگاهها، کارخانجات (مثلا استفاده از دو عدد پمپ در پروسه بویلر نیروگاهها).

بنابراین لازم است قوانین نگهداری خاص روی آنها اجرا شود. چرا که یک برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه خوب، از بروز مشکلات فراوان حین کامیونینگ و راهاندازی ماشینهایی که برای مدت طولانی متوقف بودهاند جلوگیری می کند. تمام شرایط فوق در این مقاله با عنوان بازه انبارداری در نظر گرفته شده است. در این مقاله به بررسی قوانین نگهداری موتورهای القایی، موتور و ژنراتور سنکرون، موتور و ژنراتور های جریان مستقیم که به صورت افقی و یا عمودی نصب میشوند پرداخته می-شود.

ضرورت انجام تعمیرات پیشگیرانه در انبارداری طولانی مدت

زمانی که یک ماشین برای مدت طولانی متوقف است، ماشین تحت تاثیر عوامل محیطی مثل تغییرات دمایی، رطوبت و عوامل مخرب قرار می-گیرد. اجزای بیرونی ماشین از قبیل شافت و فلانچها و اجزای داخلی ماشین مثل بیرینگها، ترمینال باکسها و سیمپیچ تحت تاثیر این عوامل قرار میگیرند. در نتیجه بعد از یک انبارداری طولانی مدت، مقاومت عایقی سیمپیچ ممکن است کاهش یابد، بیرینگها و اجزای ماشین ممکن است زنگ بزنند و ویژگیهای روانکاری بیرینگ ممکن است تغییر کند. تمام این عوامل، ریسک خطا یا عملکرد نادرست حین راه-اندازی را افزایش دهد[1]. به طور حتم انبارداری نامناسب موتور منجر به کاهش جدی قابلیت اطمینان و افزایش نرخ خرابی در ماشینهای الکتریکی خواهد شد. [2]

محل انبارداری



شکل 1: بروز نقص در پوسته داخلی بیرینگ بر اثر لرزش در یک نقطه ثابت

در شکل فوق کنس داخلی یک رولبیرینگ نشان داده شده که خطوطی با فواصل مساوی روی سطح ایجاد شده است. این نوع نقص در اثر لرزش رولهای بیرینگ در وضعیت سکون و در یک نقطه، رخ میدهد و ممکن است با گذشت زمان باعث جدا شدن قطعات کوچک از سطح فلز شوند. با توجه به اهمیت و حساسیت این موضوع، در این بخش به بررسی انواع بیرینگ، وضعیت نصب و قوانین و الزامات مورد نیاز برای دوره انبارداری (نگهداری در انبار قبل از نصب و یا دوره توقف بعد از نصب) پرداخته خواهد شد.

1- قفل شافت: به منظور جلوگیری از آسیب بیرینگ طی جابجایی و حمل و نقل ماشینالکتریکی، یک قفل شافت مطابق شکل 2 استفاده می شود. این قفل باید طی دوره انبارداری مورد استفاده قرار گیرد و فقط جهت انجام مراحل نگهداری پیشگیرانه الکتروموتور باز میشود.



شکل 2: نمونه قفل شافت

2- بیرینگ ماشینهای الکتریکی با نصب افقی الف: بیرینگهای غلطان: رولبیرینگها به دو حالت روانکاری با گریس و روانکاری با روغن میباشند که در کارخانه جهت انجام تست به طور کامل روغنکاری شده و در طی دوره انبارداری نیز به همین صورت باقی میمانند. به منظور انجام روانکاری در طی دوره انبارداری لازم است هر دو ماه یکبار شفت 10 الی 15 دور چرخانده شود. بعد از 6 ماه باید بیرینگ روانکاری مجدد و بعد از دو سال از تاریخ انبارداری لازم است بیرینگ دمونتاز، شستشو، بازرسی و مجددا روانکاری شود. سازندگان بیرینگ برای بیرینگ-هایی که سیل هستند توصیه میکنند بیرینگ بعد از

ماشینهای الکتریکی باید ترجیحا در محلی سرپوشیده، بسته، عاری از رطوبت و عوامل مخرب قرار گیرند. همچنین لازم است محل انبار دارای یک منبع حرارتی به منظور تامین گرمایش محیط بوده و دارای فضای کافی جهت انجام اقدامات نگهداری و بازدیدهای دوره ای بوده و محل بدون لرزش و تغییرات دمایی باشد. به طور کلی نگهداری ماشین در محیط آزاد و بدون پوشش توصیه نمی گردد. در صورت اجبار لازم است با یک پوشش پلاستیکی ضخیم پوشانده شود تا از نفوذ عوامل جوی (برف، باران، نور خورشید)، گردوغبار و ذرات نمکی به ماشین جلوگیری شود. به طور کلی محیط انبار باید تمیز، خشک و بدون اسید و قلیا و مواد خورنده باشد [4].

بازدید دوره‌ای

به منظور نگهداری مناسب و جلوگیری از بروز عیب حین راهاندازی، لازم است بازدیدهای دوره‌ای حین دوره انبارداری ماشین انجام شود. این بازدیدها باید شامل موارد زیر باشند:

1- بازدید رنگ: رنگ به عنوان یک لایه محافظ در مقابل زنگزدگی و خوردگی عمل میکند. لذا لازم است طی دوره انبارداری کنترل و در صورت نیاز ترمیم شود.

2- بازدید اجزاء ماشین: سطوح ماشینکاری شده ماشینهای الکتریکی که بدون پوشش هستند باید توسط یک لایه محافظ ضد خوردگی پوشیده شوند. این لایه محافظ باید تا زمان نصب ماشین روی سطوح باقی بماند و هر زمانی که لازم است ترمیم و جایگزین شود (برای جایگزینی یک لایه Alkid Diluent توصیه میگردد. [2])

3- ترمینالباکس: بازدید و کنترل ترمینال باکسها به منظور بررسی وجود رطوبت، گردوغبار و عوامل خورنده محیط انجام و آبیندی کنترل شود.

4- جاروبکها: در صورتیکه ماشین دارای جاروبک باشد باید در طی دوره انبارداری از جاروبکنگهدار خارج شده یا از روی شفت فاصله داشته باشد. همچنین به منظور جلوگیری از خوردگی و یا خطانداختگی روی اسلبیرینگ یا کموتاتور، لازم است سطح رینگ با یک لایه پارافین و یا یک لایه نازک روغن پوشیده شود.

محافظت از بیرینگ

بیرینگ ها دارای سطوح صاف و سیقلی هستند که نیاز ویژه در طول دوره انبارداری دارند. در این دوره اگر نگهداشت و پروسه نگهداری کامل نباشد ممکن است آسیب به بیرینگ اتفاق بیفتد که در زمان راه-اندازی بروز خواهد کرد. در شکل 1 زیر یک نمونه آسیب به بیرینگ نشان داده شده است.

آمده است نشان داده شده است. این نقص زمانی بوجود می‌آید که شافت در حالت سکون برای مدت طولانی و بدون فیلم روغن است بوجود می‌آید.

3- بیرینگ ماشینهای الکتریکی با نصب عمودی نوع بیرینگ مورد استفاده در ماشینهای الکتریکی که به صورت عمودی نصب میشوند به سایز، ویژگیهای ماشین و شرایط باری که روی آن کویل میشود بستگی دارد. سرعت ماشین، جهت و نیروی اکسیالی اعمال شده توسط بار نیز خیلی موثر است. توصیههای لازم جهت بیرینگ ماشینهایی که به صورت عمودی نصب میشوند، بسته به نوع بیرینگ متفاوت است و به شرح زیر است:

الف: رولبرینگهای گریسخور عمودی: این بیرینگها باید در طی مدت انبارداری هر 2 ماه یکبار 10 الی 15 دور چرخانده شود و هر 6 ماه یکبار روانکاری شده و بعد از 2 سال انبارداری، بیرینگ باید دمونتاز و پس از تمیزکاری مجدداً آییندگی شود. در برخی از سازندگان دستورالعمل نگهداری بیرینگ برای یاتاقانها و بیرینگها الکتروموتورها به ترتیب در جدول 1 و 2 نشان داده شده است. در هر دو حالت شافت الکتروموتور باید با سرعت 30 دور بر دقیقه و به مدت 15 ثانیه چرخانده شود.

جدول 1: دستورالعمل نگهداری یاتاقانها در الکتروموتورهای زیمنس

STOAGE ENVIRONMENT	Shaft Rotation Frequency
INDOOR WHOLLY CONTROLLED ATMOSPHERE	EVERY TWO(2) MONTH
INDOOR PARTIALLY CONTROLLED ATMOSPHERE	ONCE PER MONTH
OUTDOOR INLAND DRY CLIMATE	ONCE PER MONTH
OUTDOOR INLAND HUMID CLIMATE	ONCE PER WEEK
OUTDOOR SALTY AND INDUSTRIAL ATMOSPHERE	ONCE PER WEEK

جدول 2: دستورالعمل نگهداری بیرینگها در الکتروموتورهای زیمنس

STOAGE ENVIRONMENT	Shaft Rotation Frequency
INDOOR WHOLLY CONTROLLED ATMOSPHERE	EVERY TWO(2) MONTH
INDOOR PARTIALLY CONTROLLED ATMOSPHERE	EVERY TWO(2) MONTH
OUTDOOR INLAND DRY CLIMATE	ONCE PER MONTH
OUTDOOR INLAND HUMID CLIMATE	ONCE PER WEEK
OUTDOOR SALTY AND INDUSTRIAL ATMOSPHERE	ONCE PER WEEK

5- کنترل مقاومت عایقی بیرینگ

مدت زمان 2 سال از تاریخ انبارداری باید تعویض شوند.

ب: بیرینگهای هیدرودینامیک: بیرینگهای هیدرودینامیک به نام بیرینگهای نوع تخت و یا یاتاقان شناخته میشوند. این نوع بیرینگها در کارخانه جهت انجام تست، روغنکاری شده و در طی مدت انبارداری نیز باید در همین شرایط باقی بماند. برای اکثر این نوع بیرینگ، پروسه نگهداری به این صورت است که شافت با سرعت 30 دور بر دقیقه و به مدت 10 تا 15 ثانیه چرخانده شوند. بیرینگهای هیدرودینامیک با محور و بدون رینگ فرار روغن، باید روغنکاری تحت فشار در طی دوره بهره‌برداری و انبارداری داشته باشند. لذا لازم است در این شرایط حتماً یک سیستم روغنکاری خارجی با سیستم جکینگ جهت پروسه چرخاندن طی دوره بهره‌برداری وجود داشته باشد.

اگر امکان چرخاندن شافت طی دوره انبارداری وجود نداشته باشد، پیشنهاد میگردد بیرینگ دمونتاز، تمیزکاری و سپس توسط مواد ضد خوردگی، پوسته بیرینگ، سطح تماس شافت و اجزای داخلی بیرینگ پوشانده شود. پیشنهاد میگردد کیسهای رطوبتگیر (سیلیکاژل) جهت جذب رطوبت استفاده شوند. همچنین لازم است به منظور جلوگیری از نفوذ رطوبت و ناخالصی، بیرینگ به طور کامل پلمپ شده و فاصله بین شافت و بیرینگ با نوار مخصوص، آب-بندی شود. این پروسه لازم است هر 6 ماه یکبار انجام شود و بعد از دوره 2 ساله لازم است بیرینگ دمونتاز و کاملاً بستهبندی و نگهداری شود.

ج: ماشینهای تک بیرینگ

در برخی از کاربردها ماشین ممکن است فقط دارای یک پشت بیرینگ باشد. از آنجائیکه ماشین بیرینگ سر عقب ندارد، شافت در حالت قفل طی دوره انبارداری باقی میماند و قفل فقط در زمان نصب باز میشود. اگر این بیرینگ از نوع رولبرینگ باشد، لازم است قبل از استارت هر 6 ماه یکبار تجدید روانکاری شود. اگر از نوع هیدرودینامیک باشد باید بر اساس اصول نگهداری این بیرینگ که در قبل عنوان شد رفتار کرد.



شکل 3: نقص در پوسته پایین بیرینگ هیدرودینامیک

در شکل 3 فوق نقص در پوسته پایین بیرینگ از نوع هیدرودینامیک که در اثر فشار نیروی وزن بوجود

temperature (°C)	Rotating equipment		oil-filled transformers	cables							
	class A	class B		code natural	code GR-S	performance natural	heat resist natural	heat resist perform. GR-S	ozone resist natural GR-S	varnished cambric	impregnated paper
0	0,21	0,4	0,25	0,25	0,12	0,47	0,42	0,22	0,14	0,1	0,28
5	0,31	0,5	0,36	0,4	0,23	0,6	0,56	0,37	0,26	0,2	0,43
10	0,45	0,63	0,5	0,61	0,46	0,76	0,73	0,58	0,49	0,43	0,64
15	0,71	0,81	0,74	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1,47	1,83	1,24	1,28	1,53	1,75	1,94	1,43
25	1,48	1,25	1,4	2,27	3,67	1,58	1,68	2,48	3,29	4,08	2,17
30	2,2	1,58	1,98	3,52	7,32	2	2,24	4,03	6,20	8,62	3,2
35	3,24	2	2,8	5,45	14,6	2,55	2,93	6,53	11,65	18,2	4,77
40	4,8	2,5	3,95	8,45	29,2	3,26	3,85	10,7	25	38,5	7,15
45	7,1	3,15	5,6	13,1	54	4,15	5,08	17,1	41,4	81	10,7
50	10,4	3,98	7,85	20	116	5,29	6,72	27,8	78	170	16
55	15,5	5	11,2			6,72	8,83	45		345	24
60	22,8	6,3	15,8			8,58	11,6	73		775	36
65	34	7,9	22,4				15,4	118			
70	50	10	31,7				20,3	193			
75	74	12,6	44,7				26,6	313			

شکل 6: تطابق دما در مقاومت عایقی مطابق کلاس عایقی ماشین الکتریکی

6- خشک کردن سیمپیچ
در صورتیکه در اثر رطوبت، مقدار مقاومت عایقی و یا اندیس پلاریزاسیون سیمپیچ در محدوده مجاز ذکر شده نباشد، لازم است سیمپیچ خشک شود. قراردادن ماشین در داخل کوره، استفاده از هیترهای داخلی، استفاده از جریان هوای داغ تزریقی به داخل ماشین و عبور جریان الکتریکی از سیمپیچ از جمله روشهای رطوبتزدایی در سیمپیچ میباشند.

7- نتیجه گیری و جمع بندی
اصول انبارداری ماشینهای الکتریکی چرخان، بر اساس ساین، اجزای داخلی، نحوه نصب، نوع کاربرد و نحوه بهره برداری تقسیم بندی میشوند. به طور یقین انجام انبارداری صحیح ماشین، سبب کاهش خطاهای پیشبینی نشده در لحظه استارت و بهره برداری ماشین خواهد شد. مطالب ارائه شده در این مقاله برای ماشینهای ساین متوسط عنوان شده است. بهر حال دستورالعملهای سازنده برای نگهداری ماشین طی دوره بهره برداری در اولویت میباشند.

8- منابع

- [1] Jorge G. "WEG Storage of medium_sized rotating electrical machines"
- [2] "Induction motor/generators storage recommendation" Siemens Industrie, Inc, 2014
- [3] "Guide to modern insulation testing", METREL
- [4] دستورالعمل نگهداری و بهره برداری از الکتروموتور سه فاز شرکت جمکو

در برخی از ماشینهای الکتریکی ممکن است یکی یا هر دو بایرینگ عایق شده باشند. یک عایق خوب مانع عبور جریان ناشی از ولتاژ اعمالی روی شافت موتور، به زمین میشود. لذا بایرینگ در مقابل خوردگی ناشی از جریانهای تخلیه شده به زمین که از مسیر بایرینگ عبور میکند محافظت میشود. حداقل مقاومت عایقی قابل قبول برای بایرینگ عایق شده یک کیلو اهم میباشد.

6- بررسی و کنترل مقاومت عایقی سیمپیچ
اندازه گیری مقاومت عایقی یکی از پارامترهای مهم در تشخیص وضعیت عایقی سیمپیچ (سلامت عایق) و همچنین کنترل روند پیری عایق میباشد. در اندازه گیری مقاومت عایقی حتما باید دمای سیمپیچ در لحظه تست، ثبت شود. سپس مقدار مقاومت عایقی اندازه گیری شده به دمای 40 درجه سانتیگراد تطبیق شود. در شکل 4 دو مقادیر ولتاژ پیشنهادی با توجه به ولتاژ نامی سیستم داده شده است.

Rated voltage of the winding (V)	Insulation resistance test - continuous voltage (V)
< 1000	500
1000 - 2500	500 - 1000
2501 - 5000	1000 - 2500
5001 - 12000	2500 - 5000
> 12000	5000 - 10000

شکل 4: ولتاژ اعمالی به سیمپیچ جهت انجام تست مقاومت عایقی

بر اساس استاندارد IEEE-43 حداقل مقاومت عایقی و اندیس پلاریزاسیون مورد قبول پس از تبدیل به دمای 40 درجه سانتیگراد باید مطابق با جدول شماره 5 باشد.

Tested winding	R1min
Manufactured up to 1970	kV + 1
Manufactured after 1970	100MΩ
Windings in general with kV < 1.	5MΩ
Minimum polarization index (PI) = 2	

شکل 5: حداقل مقاومت عایقی و اندیس پلاریزاسیون مورد قبول

در صورتی که مقدار مقاومت عایقی اندازه گیری شده مطابق با جدول فوق نباشد لازم است سیمپیچ به وسیله روشهای موجود حرارت داده شده و خشک شود. در شکل 6 جدول تطبیق دما به 40 درجه سانتیگراد در اندازه گیری مقاومت عایقی و با توجه به کلاس عایقی ماشین نشان داده شده است.