



استراتژی، تبیین، تعمیر و نگهداری مقاومتهای راه انداز الکتروموتورهای ولتاژ متوسط در صنعت سیمان

حسین اثباتی¹، امیر آنقی²

¹ کارشناس ارشد مهندسی برق کنترل، کارشناس واحد برق و کنترل کارخانه سیمان زابل،

شرکت صنایع سیمان سیستان

Hosseinesbati1@gmail.com

² کارشناس ارشد مدیریت اجرایی (استراتژیک)، رئیس برق کارخانه سیمان زابل، شرکت

صنایع سیمان سیستان

Amir.Anaghi@gmail.com

خلاصه

ماشینهای الکتریکی یکی از مهمترین و شاید گرانقیمت ترین تجهیزات الکتریکی در صنعت سیمان به شمار می روند، که توقفات آنها با توجه به پیوستگی فرآیند سیمان منجر به صدمات اقتصادی فراوانی می گردد. در هر دپارتمان از کارخانجات سیمان، اساس انتخاب الکتروموتورهای ولتاژ متوسط، ایجاد گشتاور راه اندازی بالا و مهار جریان راه اندازی در لحظه استارت می باشد. بنابراین برای ایجاد چنین شرایطی، یک راه انداز مناسب در لحظه استارت و عبور از این حالت گذرا الزامی است. با توجه به ورود نیمه هادیها به الکترونیک قدرت و ساخت سافت استارترها در قدرتهای بالا و همچنین درایوهای کنترل دور، بسیاری از مشکلات راه اندازی حل شده است ولی گران بودن این تجهیزات هنوز به عنوان مانع اصلی برای عمومی شدن این نوع از راه اندازها است. در این مقاله، به بررسی انواع مختلفی از راه اندازها و مزایا و معایبشان و چگونگی تعمیر و نگهداری از آنها پرداخته می شود.

کلمات کلیدی:

تجهیزات الکتریکی، الکتروموتورهای ولتاژ متوسط، سافت استارترها، گشتاور راه اندازی، تعمیرات و نگهداری.

1. مقدمه

با توجه به گسترش صنعت سیمان در کشور و تعداد قابل توجه کارخانجات سیمان در اقصی نقاط مملکت این صنعت بزرگ نیازمند نگرش مهندسی و کلاسیک نسبت به تعمیرات و نگهداری تجهیزات



در هر کارخانه می باشد. براساس تعریف استاندارد DIN، نگهداری و تعمیرات عبارت است از: تمامی فعالیت‌های انجام شده در جهت حفاظت یا اعاده وضع یک جزء و یا کل سیستم موجود، به طوری که نگهداری و تعمیرات صحیح، افزایش ارزش‌های زیر را در برداشته باشد:

افزایش کارایی و بهره‌وری، افزایش ایمنی کار و محصول، افزایش طول عمر دستگاه‌ها و تجهیزات و جلوگیری از فرسودگی آنها، کاهش ساعات توقف کار، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، کاهش مصرف قطعات یدکی، پیش‌بینی میزان و زمان مصرف قطعات، بازسازی مصرف مجدد قطعات، تأمین کیفیت مناسب کار یا محصول تولیدی. هدف تعمیرات عبارت است از: طولانی کردن عمر کارخانه با حداقل هزینه و بیشترین بهره‌وری (طول عمر از زمان نصب ماشین‌آلات در طول زمان تولید تعریف می‌شود). جهت دستیابی به هدف ذکر شده سه وظیفه عمده به شرح زیر بر عهده تعمیرات قرار می‌گیرد: تنظیم و بهینه‌سازی، جلوگیری از استهلاک، موقع بازسازی و جایگزینی.

انواع تعمیرات شامل موارد زیر است:

- 1) تعمیرات اصلاحی (روتین): این تعمیرات شامل نقایص جزئی و غیرقابل پیش‌بینی بوده که در زمان بهره‌برداری عادی قابل رفع است و در صورت نیاز به توقف اجرای کار در ردیف تعمیرات دوره‌ای قرار می‌گیرد و توسط پیمانکار انجام می‌شود.
- 2) تعمیرات ادواری: از این تعمیرات می‌توان تا برقراری کامل سیستم به صورت هوشمند استفاده کرد. این سیستم برای سهولت برنامه‌ریزی و کنترل، قابل مکانیزه شدن است.
- 3) تعمیرات هوشمند: در این تعمیرات با استفاده از سیستم‌های مانیتورینگ و سیستم‌های تحلیل‌کننده، رفتار ماشین تحت

نظارت مداوم قرار گرفته و در صورت نزدیکی به محدوده غیرمجاز بهره‌برداری، هشدار و سپس فرمان توقف صادر خواهد شد. در طی چند دهه اخیر راهکارهای گوناگونی در زمینه بهبود و ارتقاء نت مورد استفاده قرار گرفته است که در ادامه، اهم آنها به اختصار مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

- 4) تعمیرات اضطراری (رفع خرابی): در این نگرش که در دهه 1930 مطرح بود بر ایجاد سیستم‌های با تخصص باله و آماده نگهداشتن آنها برای رفع نواقص ایجاد شده در تجهیزات استوار بود و تمام هم گروه تعمیراتی بر این بود که از یک طرف تجهیزات و ماشین‌آلات از کار افتاده را تعمیر کرده و به بهره‌برداری برسانند و از طرف دیگر بازار مورد نیاز برای انجام کار را به طور صحیح پیش‌بینی کند.

- 5) نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه: این روش شامل تمامی اقدامات و خدماتی است که توسط کارکنان جهت حفظ و نگهداری سیستم با تجهیزات از نظر ایمنی و افزایش قابلیت از طریق بازدیدها و بازرسی‌های سیستماتیک، کشف و پیدا کردن اشکالات، روغنکاری، تمیزکاری و تعمیرات دوره‌ای با زمان‌های ثابت از پیش تعیین شده انجام می‌پذیرد.

- 6) تعمیرات پیشگیرانه بر اساس شرایط فنی: در روش تعمیرات پیشگیرانه بر مبنای بروز علائم، خرابی‌های مهم در یک دستگاه که توسط ایجاد تغییرات در پارامتر کنترل‌کننده دستگاه؛ شرایط و یا عملکرد آن مشخص می‌شود، مورد عمل قرار می‌گیرد، همچنین نتایج حاصل از یک تغییر قابل اندازه‌گیری به طور دائمی یا دوره‌ای صورت می‌پذیرد.

- 7) تعمیرات جامع بهره‌ور (T.P.M): این روش در برگیرنده مفهوم نوینی برای نگهداری و تعمیرات واحدها و تجهیزات است و تلفیق دقیقی از مفاهیم و راهکارهای بهبود بهره‌وری است.

لفظ فراگیر در عبارت نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر در سه حوزه زیر قابل تعریف است. این سه حوزه اثر بخشی فراگیر (توسعه راندمان)، پیشگیری فراگیر (اجرای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه جامع) (P.M) و همکاری فراگیر که شامل انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات به صورت مستقل توسط پرسنل بهره‌بردار است. در این روش تعمیرات روزانه معمولی، چک‌نمودها، تنظیم‌های کوچک و تعویض قطعات کوچک از وظایف بهره‌بردار بوده و تعمیرات اساسی و رفع نقص‌های کلی به وسیله نیروی تعمیراتی و با کمک بهره‌بردار انجام می‌گیرد.



به طور کلی در روش نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (P.M.) بر ایجاد یک سیستم برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات تأکید می‌شود، در صورتی که در روش (T.P.M.) مفاهیم عمیق‌تری در مورد بازنگری فعالیتهای نگهداری و تعمیرات، مشارکت، بهبود مستمر و بهبود شاخص ارزیابی اثربخشی تجهیزات مدنظر است.

این مقاله بدین صورت سازمان یافته است: بخش 2 انواع مقاومت راه انداز موتور، بخش 3 استارترهای خشک، بخش 4 استارترهای الکترولیتی، بخش 5 استارترهای روغنی، بخش 6 نحوه عملکرد راه انداز الکترولیتی و نکاتی در مورد چگونگی تعمیرات و نگهداری آن، بخش 7 نحوه عملکرد راه انداز روغنی و نکاتی در مورد چگونگی تعمیرات و نگهداری آن، بخش 8 نتیجه گیری و بخش 9 به مراجع اختصاص یافته است.

2. انواع مقاومت راه انداز الکتروموتور

یکی از کاربردهای مهم مقاومتهای صنعتی در کنترل الکتروموتورها میباشد، بدین معنی که با انتخاب مقاومت مناسب هم میتوان کمیات الکتریکی ورودی موتور را تحت کنترل قرار داد و هم میتوان کمیات مکانیکی خروجی موتور یعنی گشتاور و دور را در حد قابل ملاحظه ای متناسب با شرایط تغییر داد این مقاومتها به طور کلی در حالات زیر استفاده میشوند: در مسیر استاتور موتورهای آسنکرون، در مسیر استاتور و یا روتور و یا هم روتور و هم استاتور در موتورهای Slip Ring، در مسیر میدان موتورهای DC، در مدار موتورهای که به روش ستاره - مثلث راه اندازی میشوند.

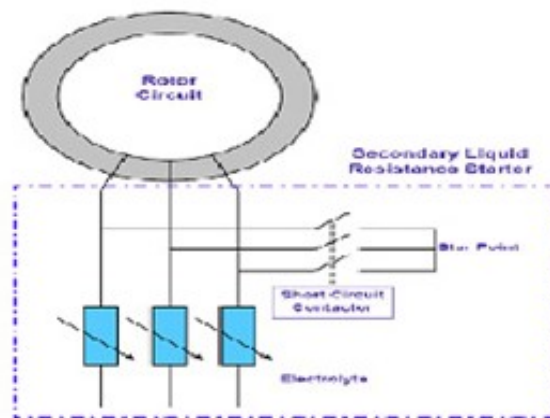
حاصل عملکرد این مقاومتها به طور خلاصه عبارتند از: تغییر گشتاور راه اندازی و تناسب لازم در منحنی گشتاور - دور یا بار، کاهش جریان راه اندازی در لحظات شروع، کنترل دور الکتروموتور، ایجاد و لغزش دائمی در موتورهای که بارهای سنگین دارند. این دسته از مقاومت ها (به ویژه مقاومت های راه انداز) در سه نوع خشک، روغنی و مایع (الکترولیتی) ساخته می شوند که هر کدام دارای مزایای خاص خود هستند و با توجه به توان و ولتاژ موتور انتخاب می گردند.

3. استارترهای خشک

در مقاومت های نوع خشک از المان های مقاومتی صنعتی که غالبا از نظر متریکال در خانواده فلزات خاص مقاومتی قرار دارند استفاده می شود که نحوه خنک کاری آنها بصورت هوای طبیعی (AN) یا هوای اجباری (AF) می باشد. که برای موتورهای با کیلووات پائین تر استفاده می شود (تقریبا" تا 500 kw)

4. استارترهای الکترولیتی

برای ایجاد حداقل جریان و حداکثر گشتاور راه اندازی در موتورهای اسلیپ رینگ، نیاز است در لحظه شروع استارت مقاومت مناسبی با مقاومت روتور سری شده باشد و بعد از استارت موتور به تدریج این مقاومت کاهش یافته و سرانجام زمانی که موتور به دور نامی خود نزدیک شد مقاومت راه انداز کاملاً از مدار خارج شود. کاهش مقدار مقاومت در این نوع از راه اندازها که به استارترهای آبی نیز معروف می باشند، پیوسته، یکنواخت و بدون وقفه مکانیکی می باشد که این مهمترین مزیت استارترهای الکترولیتی می باشد. برای موتورهای MV با توان تقریباً 1.5 مگاوات به بالا از راه اندازهای الکترولیتی استفاده می شود که در آن الکترولیت نقش مقاومت را ایفا می کند. مهمترین ایراد این راه انداز تغییر غیر عادی میزان مقاومت آن با تغییر دمای مایع درون آن میباشد، که البته برای رفع این نقیصه لازم است دمای مایع آن توسط سنسورها کنترل گردد تا در صورت افزایش یا کاهش دمای مایع از مقادیر تعریف شده از راه اندازی استارتر جلوگیری شود و یا در دستگاه های مدرن تر دمای الکترولیت توسط تجهیزات جانبی (گرم کن/سرد کن) به رنج نرمال برگردد.

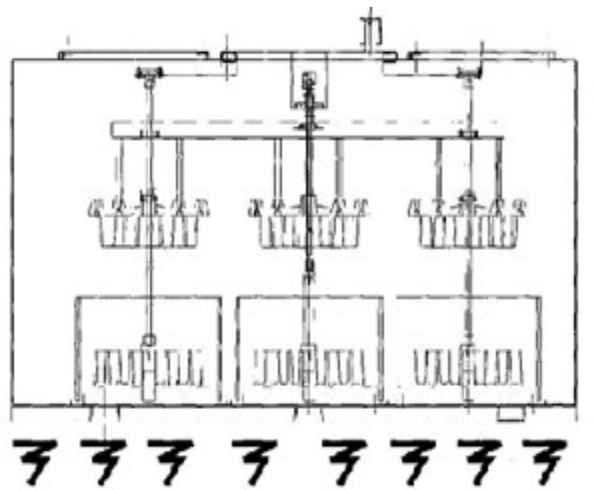


شکل 1- شماتیک الکتریکی مقاومت الکترولیتی

معمولاً راه اندازه‌های الکترولیتی از قسمت‌های زیر تشکیل شده اند.

4-1. مخزن محتوی الکترولیت :

معمولاً بدنه مخزن از ورق فولادی 30/10 و یا ورق فولادی ضد زنگ ساخته می شود و بهتر است برای جلوگیری از زنگ زدگی، سطح داخلی آن با وارنیش اپوکسی رزین رنگ آمیزی شود. بدنه مخزن باید به نحوی باشد تا در مقابل حجم بالای الکترولیت از استحکام مکانیکی مطلوب برخوردار باشد و از نقاط جوشکاری شده احتمال نشتی وجود نداشته باشد. در اکثر مواقع تابلوی کنترل استارتر بر روی بدنه مخزن نصب می شود و شین‌های ارتباطی از کنتاکتور به الکترودها به وسیله یک بوشینگ آب بند از بدنه عبور می کنند. در بالای بدنه مخزن دریچه بازدید و تعمیرات، لوله هواکش، دریچه شارژ آب و یا الکترولیت، محل نصب میکسر الکترولیت و گیر بکس محرک الکترودها و ... تعبیه می شود. در برخی از استارترهای آبی بجای میکسر عمودی پروانه ای در بالای مخزن، از یک لوله ورودی و خروجی در بالا و پایین مخزن به همراه یک پمپ استفاده می شود که وظیفه اختلاط و یکنواخت سازی الکترولیت را به عهده دارد.



شکل 2- نمایی از مخزن استارتر الکترولیتی

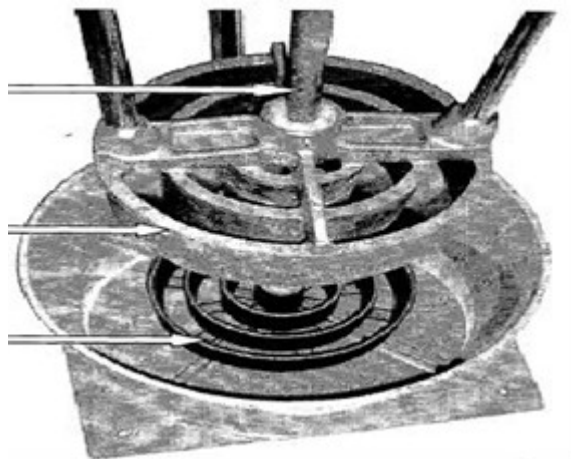
4-2. الکترولیت



الکترولیت‌ها که معمولاً از کربنات سدیم Na_2CO_3 محلول در آب که با نسبت تعیین شده تهیه می‌شود. در حقیقت الکترولیت همان مقاومت سری شده با مقاومت روتور است و بسته به میزان غلظت کربنات سدیم، فاصله الکترودهای متحرک و ثابت و دمای الکترولیت متغیر می‌باشد. مقدار مقاومت الکترولیت بر اساس گشتاور راه اندازی موتور تعیین می‌شود. معمولاً در راه اندازهای الکترولیتی میزان غلظت نمک در حدود 4 % تنظیم می‌شود.

3-4. الکترودهای متحرک و ثابت

الکترودها شامل سه عدد الکتروود ثابت و سه عدد الکتروود متحرک هستند که اغلب با آرایش خطی در یک ردیف نصب می‌شوند و بندرت در برخی از استارترها این الکترودها، با آرایش مثلث شکل هستند. هر الکتروود ثابت با الکتروود متحرک رو بروی خود مربوط به یک فاز هستند. الکترودها از ورق فولادی با کربن کم و یا برنزی و به شکل استوانه ای ساخته می‌شوند. آرایش الکترودها به این صورت است که معمولاً سه الکتروود ثابت به وسیله مقره به قسمت زیرین مخزن متصل می‌شوند و سه الکتروود متحرک به یک شمش متصل می‌شوند. مرکز شاسی نگهدارنده الکترودهای متحرک به شافت گیر بکس مهار می‌شود و با چرخش گیربکس به سمت پائین یا بالا حرکت می‌کند.



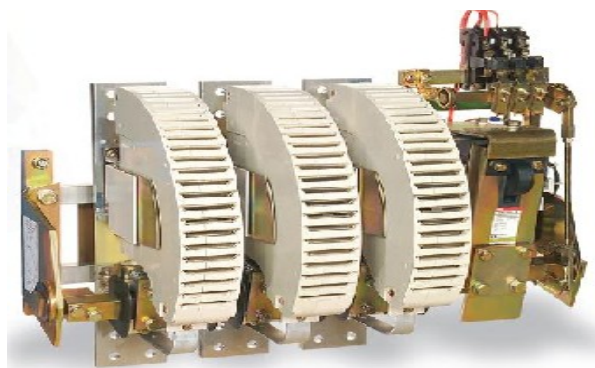
شکل 3- نحوه آرایش الکتروود های ثابت و متحرک

4-4. درایو محرک الکترودها

همانطور که در شکل (2) دیده شد، الکترودهای متحرک بر روی یک شاسی هادی نصب شده‌اند. در مرکز این شاسی یک شافت رزوه دار قرار گرفته است که انتهای شافت توسط دو مهره در دو طرف شاسی فیکس شده است و سر دیگر شافت در داخل شافت توخالی گیر بکس قرار دارد. یک موتور سه فاز به گیربکس متصل است که با استارت آن بصورت چپگرد یا راستگرد گیر بکس و متعاقباً شافت می‌چرخد و باعث حرکت شاسی و الکترودهای متحرک به بالا و پائین می‌شود.

5-4. تابلوی فشار قوی

در این قسمت کنتاکتور فشار قوی همراه با ترمینال‌های کابل‌های فشار قوی روتور و باس بارهای مربوطه نصب شده است که وظیفه اتصال کوتاه راه انداز را به عهده دارند. انواع متنوعی از این کنتاکتورها وجود دارد.



شکل 4 - یک نوع کنتاکتور اتصال کوتاه در استارتر الکترولی

معمولاً کنتاکتهای این کنتاکتور قابل تنظیم می باشد. (برای ایجاد حداکثر سطح تماس بین کنتاکت های ثابت و متحرک و کاهش جرقه ناشی از قطع و وصل) لازم به ذکر است در صورتیکه در لحظه اتصال کوتاه، موتور به سرعت نامی (3% لغزش) نرسیده باشد جرقه شدیدی در کنتاکتور اتفاق خواهد افتاد.

4-6. تابلوی فشار ضعیف

این تابلو شامل کنترلر اصلی، کنتاکتورهای فرمان و قدرت فشار ضعیف، فیوزها، کلید تغذیه و می باشد. وظیفه تامین $V_{ac} 400$ و $V_{dc} 24$ ، منطق ترتیب عملکرد راه انداز، ارسال و دریافت ساینسینگال های ایمنی و حفاظتی را بعهده دارد.

4-7. سیستم گرم کننده و خنک کننده

با توجه به حجم بالای مخزن راه انداز الکترولی و ظرفیت گرمایی ویژه آب، معمولاً این نوع راه اندازها در بازه حرارتی 10- تا 42 درجه سانتیگراد قابل استفاده می باشند. ولی علیرغم این موضوع برای جلوگیری از یخ زدگی الکترولیت در زمستان این نوع راه انداز مجهز به هیتر می باشد که در صورت کاهش دمای الکترولیت یک ترموستات در دمای 5 درجه سانتیگراد فرمان استارت هیتر را ارسال خواهد نمود. با توجه به زمان کوتاه استارت که معمولاً به مدت 30 تا 40 ثانیه طول می کشد و فاصله مجاز بین دو استارت پیاپی که معمولاً یک ساعت است، الکترولیت فرصت تبادل حرارتی را خواهد داشت ولی با این وجود اگر دمای الکترولیت از 70 درجه سانتیگراد بیشتر شود ترموستات اجازه استارت مجدد را نخواهد داد. استفاده از مبدل حرارتی بندرت و در شرایط محیطی خاص استفاده می شود.

4-8. مکانیسم تشخیص چرخش رتور

حفاظت از موتور در اثر خطای رتور قفل شدگی علاوه بر اینکه به عهده رله های حفاظتی موتور است باید توسط حفاظت مستقل دیگری نیز با مانیتور کردن پارامترهای رتور تشخیص داده شود زیرا رله های حفاظتی با استفاده از جریان استاتور این خطا را تشخیص می دهند. با توجه به این مطلب در استارترها روش هایی برای تشخیص رتور قفل شدگی وجود دارد: روش ولتاژی و روش فرکانسی از دو فاز رتور در تابلوی راه انداز نمونه گیری می شود و به کنترلر فرکانس یا به کنترلر تقسیم ولتاژ ارسال می شود. این سیستم های کنترلی با توجه به فرکانس یا ولتاژ اندازه گیری شده نسبت به تشخیص رتور قفل شدگی عمل می کند.

5. استارترهای روغنی



راه اندازه‌های روغنی یکی دیگر از راه اندازه‌های رایج در راه اندازه‌های موتورهای فشار قوی اسلیپ رینگ است. در این نوع راه اندازه‌ها از المان‌های صفحه‌ای فلزی از جنس چدن یا فولادی با ظرفیت گرمایی بالا به عنوان مقاومت استفاده می‌شود. برای بدست آوردن مقاومت نهایی مورد نظر، صفحات مقاومتی بصورت ردیفی (قفسه‌ای) با هم ترکیب می‌شوند و از اتصال این ردیف‌های مقاومتی به وسیله شین‌های مسی میزان مقاومت هر مرحله مشخص می‌شود.

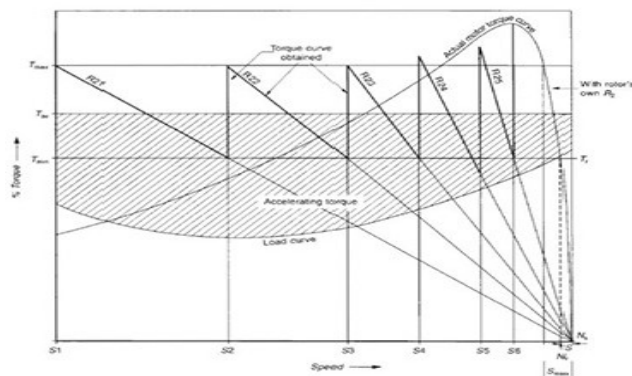


شکل 5 - نمونه یک مقاومت صفحه‌ای سالم



شکل 6 - نمونه یک مقاومت صفحه‌ای معیوب

هنگام استارت موتور در اثر عبور جریان روتور از مقاومت‌های مذکور حرارت مقاومت‌ها افزایش می‌یابد در صورت مناسب نبودن سیستم استهلاک حرارت، صفحات مقاومتی صدمه خواهند دید. برای خنک کردن این مقاومت‌ها می‌توان از روغن و یا از هوا استفاده نمود. علت نامگذاری استارترهای روغنی به دلیل استفاده از روغن به عنوان ماده مستهلک کننده حرارت در استارتر است و بر خلاف تصور برخی روغن به عنوان عایق استفاده نمی‌شود. قفسه‌های مقاومتی با کلیه اتصالات مربوطه در داخل مخزن روغن قرار می‌گیرد. برای روغن استارتر می‌توان از روغن ترانسفورماتور براساس استاندارد IEC 296 class II استفاده کرد. ولی ذکر این نکته ضروری است که، همیشه استارترها بدون روغن تحویل داده می‌شوند. و قبل از برقراری اتصال الکتریکی باید شارژ شوند. استارترهای روغنی همانند استارترهای الکتریکی برای هر قدرتی ساخته می‌شوند. ابعاد یک مقاومت روغنی بستگی به عواملی دارد، قدرت موتور، شرایط بار موتور (میزان گشتاور مورد نیاز در راه اندازه‌ای)، تعداد دفعات استارت در ساعت، زمان استارت تا رسیدن به دور نامی موتور که بستگی به اینرسی موتور و بار دارد، تعداد استپ‌های موجود برای ایجاد نرمی بیشتر در راه اندازه‌ای. تعداد استپ‌های مقاومت راه اندازه‌ای موتور بستگی به محدوده تعریف شده گشتاور دارد هر چه این محدوده کمتر باشد تعداد استپ‌ها مورد نیاز بیشتر خواهد بود.



شکل 7 - منحنی تعداد استبهای مورد نیاز مقاومت راه انداز روغنی

6. نحوه عملکرد راه انداز الکترولیتی و نکاتی در مورد چگونگی تعمیرات و نگهداری آن

در صورت آماده بودن راه انداز و وجود سیگنال مربوطه همزمان با فرمان استارت به موتور، فرمان استارت به راه انداز داده می شود. در این حالت موتور محرک الکتروهای متحرک به حرکت در آمده و الکتروها را به سمت الکترو ثابت حرکت می دهد با کاهش فاصله بین این الکتروها مقاومت راه انداز به تدریج کمتر می شود و در مدت زمان معینی (در حدود 40 ثانیه) الکتروهای استوانه ای متحرک در داخل الکتروهای ثابت قرار می گیرند. در این زمان مکانیسم حرکت الکتروها متوقف می شود و اتصال کوتاه سرهای روتور توسط کنتاکتور اتصال کوتاه کننده انجام می شود و موتور مانند یک موتور روتور قفسی به چرخش خود ادامه خواهد داد. با ارسال سیگنال پایان استارت، توسط کنتاکت های کمکی کنتاکتور اتصال کوتاه دو روش می تواند انتخاب شود:

1. الکتروها تا زمان توقف موتور پایین باقی بمانند و بعد از توقف موتور به بالا یعنی نقطه شروع باز گردند.
2. الکتروها بلافاصله بعد از اتصال کوتاه کنتاکتور اصلی، به سمت بالا حرکت نمایند تا برای استارت بعدی آماده شوند. در روش اول، اگر به هر دلیلی کنتاکتور اتصال کوتاه کننده در حالت کارکرد عادی موتور باز شود آسیبی متوجه کنتاکتور نخواهد شد ولی بزرگترین عیب این روش این است که اگر موتور متوقف شود و بلا فاصله استارت شود به دلیل پایین بودن الکتروهای متحرک، مقاومت راه انداز حداقل بوده و در صورت عدم عملکرد صحیح رله های حفاظتی امکان صدمه به موتور وجود دارد.

در روش دوم، اگر به هر دلیلی کنتاکتور اتصال کوتاه کننده در حالت کارکرد عادی موتور باز شود جرقه شدیدی در کنتاکتهای کنتاکتور اصلی به وجود می آید که می تواند باعث از بین رفتن کنتاکتور و آتش سوزی تابلوی راه انداز شود. در برخی استارترهای الکترولیتی به منظور انجام کارهای تعمیراتی بر روی راه انداز و تنظیم الکتروها، قسمتی از گیربکس برای جابجایی بصورت هندل دستی لحاظ می گردد که باید اینترلاکینگ مناسبی بین محرک دستی و محرک موتوری برای جلوگیری از آسیب دیدن افراد وجود داشته باشد. در هنگام تعمیرات در صورتیکه جنس الکتروها از برنز باشد نباید مدت زیادی خارج از الکترولیت نگهداری شوند. با توجه به تاثیر مستقیم میزان غلظت الکترولیت بر روی گشتاور راه اندازی، در صورتیکه گشتاور راه اندازی پایین باشد باید با اضافه کردن مقداری کربنات سدیم مقاومت را کاهش داد و بالعکس در صورتیکه گشتاور راه اندازی بالا باشد با کم کردن حجم الکترولیت و افزودن آب، میزان مقاومت افزایش داده می شود. پس از آماده سازی الکترولیت، برای جلوگیری از تبخیر آب در اثر گرما و همچنین ایجاد یک لایه روغن در

سبزوار

سطح آب از روغن استفاده می شود. به کمک این لایه روغن، سطح تماس الکترولیت با هوای مجاور از بین میرود و از زنگ زدگی شافت محرک الکترودهای متحرک و بدنه داخلی مخزن جلوگیری می شود. معمولاً از روغن Shell oil T32 یا روغن های مشابه برای این منظور استفاده می شود. برای اطمینان از مناسب بودن سطح مایع الکترولیت از سنسور سطح سنج استفاده می شود. جدول زیر میزان حجم مخزن متناسب با توان موتور و میزان روغن ضد تبخیر را که توسط یکی از سازندگان معتبر راه اندازهای الکترولیتی ارائه شده است نشان می دهد :

جدول 1- میزان حجم مخزن متناسب با توان موتور و میزان روغن ضد تبخیر

مقدار روغن (ضد تبخیر) litre	حجم مخزن (litre)	توان نامی (KW) موتور
10	1000	1500
15	2000	3000
15	3000	5000
20	4000	9200
20	6000	15000

به علت تاثیر گرما بر تغییر مقدار مقاومت الکترولیت در دمای محیطی متفاوت، منحنی های متنوعی از گشتاور - سرعت در یک موتور القایی اسلیپ رینگ بوجود خواهد آمد به عبارتی با افزایش دمای الکترولیت مقدار مقاومت الکترولیت کاهش یافته و در پی آن گشتاور راه اندازی کاهش و جریان راه اندازی افزایش می یابد و بالعکس با کاهش دمای الکترولیت، مقاومت افزایش و گشتاور راه اندازی نیز افزایش می یابد. اما نکته ای که باید به آن توجه کافی نمود این است که اگر چه در اثر کاهش دمای الکترولیت مقاومت آن در شروع استارت بالا است و جریان راه اندازی بسیار کاهش می یابد ولی به همین نسبت مقاومت حداقل الکترولیت در نقطه انتهایی و در لحظه اتصال کوتاه کنتاکتور اصلی نیز بالاتر از حد معمول است لذا در لحظه اتصال کوتاه مقاومت نسبتاً بزرگی به یکباره از مدار روتور حذف خواهد شد در نتیجه موتور جریان بالایی را تجربه خواهد کرد که می تواند باعث تحریک رله ها شده و موتور را متوقف کند.



**شکل 8 - نمودار جریان - زمان موتور در شرایط غلظت مطلوب الکترولیت**

شکل 8 نمودار جریانی رفتار موتور را در شرایط مطلوب الکترولیت نشان می‌دهد. ذکر این نکته ضروری است که دما نسبت مستقیم با غلظت الکترولیت دارد. در دمای بالاتر از نرمال موتور همان رفتار را نشان خواهد داد که در غلظت بالا نشان می‌دهد و بالعکس. شکل 9 نمودار جریان- زمان موتور در شرایط غلظت کمتر از نرمال الکترولیت را نشان می‌دهد. در این نمودار، جریان راه اندازی به علت مقاومت زیاد الکترولیت، بسیار محدود ولی جریان اتصال کوتاه کنتاکتور راه انداز، بسیار شدید می‌باشد که باعث تحریک رله توقف موتور شده است.

**شکل 9 - نمودار جریان- زمان موتور در شرایط غلظت کم الکترولیت**

شکل 10 نمودار جریان- زمان موتور در شرایط غلظت زیاد الکترولیت را نشان می‌دهد. اگر میزان غلظت الکترولیت بیشتر از حد نرمال و یا دمای الکترولیت خیلی بالا باشد، مقاومت الکترولیت بسیار کم شده و جریان راه اندازی به شدت افزایش می‌یابد و این افزایش جریان راه اندازی بلافاصله سبب تحریک رله و توقف موتور میشود.

**شکل 10 - نمودار جریان- زمان موتور در شرایط غلظت زیاد الکترولیت**

بهترین شرایط تنظیم غلظت و یا دمای استارتر شرایطی است که نقاط پیک جریانی هم در لحظه استارت و هم در لحظه اتصال کوتاه کنتاکتور استارتر در حد نرمال باشند.

در صورت داغ شدن غیر عادی مخزن الکترولیت رعایت موارد زیر الزامی است :

* تعداد استارت ها محدود شود



* عملکرد کنتاکتور اتصال کوتاه بررسی شود در شرایط نرمال افت ولتاژ در دو سر کنتاکت های هر فاز باید صفر باشد

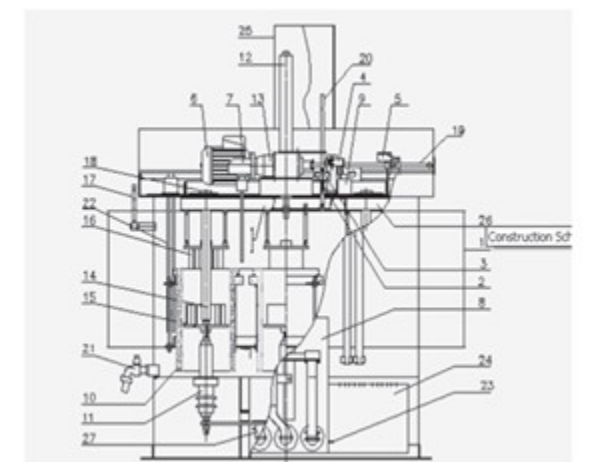
* اگر راه انداز مجهز به مبدل حرارتی است، آب خنک کننده مبدل بررسی شود.

* عملکرد پمپ سیرکوله مایع الکترولیت و ترموستات بررسی شود.

* از باز بودن مسیر لوله هواکش اطمینان حاصل شود.

* اگر مسیر لوله هواکش مخزن مسدود باشد در اثر افزایش دمای الکترولیت و تجمع بخار احتمال انفجار مخزن وجود دارد.

برای روانکاری شافت اسکرو استارترهای آبی از گریس معمولی استفاده می شود و تجربه نشان داده که گریس های معمولی با چند بار بالا و پایین بودن اسکرو کلا شسته می شوند پس از مدت کوتاهی گریس بر روی شافت اسکرو وجود نخواهد داشت و در نتیجه توصیه می شود از گریس های مقاوم در برابر رطوبت استفاده شود. با توجه به مجاورت آب و نمک، بودن واشرها و آب بندها و مقره های پوشینگ های استارتر الکترودها به مرور زمان شکننده می شوند و الکترولیت از همین ناحیه به بیرون مخزن نشت می کند و این شرایط می تواند خطرناک و سبب اتصال کوتاه در روتور در لحظه استارت شود. لذا برای جلوگیری از این عمل بایستی از گریس سیلیکونی مناسب برای واشرالات و آب بندهای ایزولاتور استفاده شود. با توجه به این که غلظت محلول الکترولیت استارترهای آبی تاثیر در جریان دارد، لذا بایستی در طی زمان مشخصی غلظت محلول کنترل شود.



شکل 11- طرحی از یک نمونه استارتر آبی همراه با اجزا آن

اگر جریان راه اندازی خیلی بالا بوده و غلظت نیز بالا باشد، بایستی بخشی از مایع تخلیه شود و آب مقطر اضافه شود. همچنین تسمه تایم و دو عدد شافت رزوه ای و پیچ برنجی آن و غلطک های بالا و پایین برنده الکترودهای متحرک و نیز صفحات عایقی بایستی مورد بازرسی قرار گیرد و در صورت نیاز تعویض و یا تعمیر گردد. دمای محلول الکترولیت نیز مهم می باشد برای همین بایستی از عملکرد صحیح ترموستات ها و همچنین عملکرد پمپ سیرکوله اطمینان حاصل کرده و مورد بازرسی قرار گیرد. همچنین سطح محلول الکترولیت نیز بایستی کنترل شود به طوری که محلول الکترولیتی رویت شده در نمایشگر شیشه ای در حد وسط باشد و نیز لول های تشخیص دهنده سطح محلول و اینترلاک های آن جهت عملکرد صحیح مورد بازرسی قرار گیرد. مقاومت عایقی بین اتصالات 3 کابل



روتور ترمینال M;L;K و نقطه ارت اندازه گیری شود که مقدار اندازه گیری شده بایستی بالاتر از 10 مگا اهم باشد.



شکل 12 - نمایی از اتصالات کابل های استاتور



شکل 13 - مجموعه الکترودهای ثابت و متحرک



**شکل 14 - برخی از قطعات استارت‌ر آبی از قبیل شافت رزوه ای به همراه پیچ
7. نحوه عملکرد راه انداز روغنی و نکاتی درمورد چگونگی تعمیرات و
نگهداری آن**

برخلاف استارترهای الکترولیتی که هر کدام از فازهای استارتر با بدنه (زمین) استارتر اتصال الکتریکی دارد در استارترهای روغنی باید هر کدام از فازها با بدنه (زمین) کاملاً ایزوله باشد و یکی از تست‌های سلامت استارترهای روغنی استفاده از تست مگر برای اطمینان از ایزوله بودن مقاومت‌ها از بدنه و اتصال زمین است. نقطه ضعف این مقاومت‌ها در محل اتصال صفحه‌ها با میله عایق نگهدارنده می‌باشد. در شکل 15 یک صفحه مقاومت صدمه دیده را نشان می‌دهد. مسیر عبور جریان بصورت رگه سیاه رنگ دیده می‌شود و در سوراخ اتصال صفحه به میله، ذوب شدگی صفحه کاملاً مشهود است. در صورت اتصال کوتاه هر کدام از صفحات با میله نگهدارنده قفسه، می‌توان گفت استارتر سوخته است و باید عایق میله و صفحه و یا صفحات معیوب، بازسازی و یا تعویض شوند.

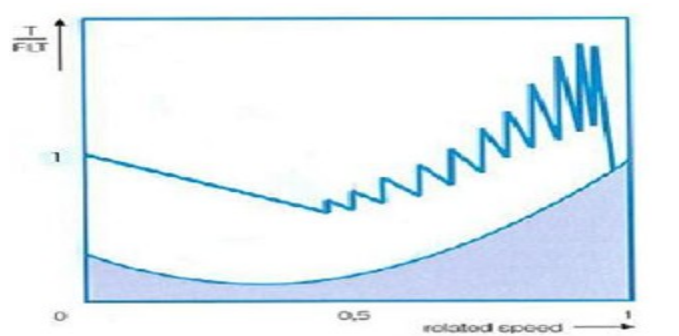


شکل 15- مقاومت‌های صفحه‌ای ترکیبی

در هر ردیف از صفحات مقاومتی برای عایق کردن دو صفحه از هم از پوشینگ‌های سرامیکی و یا عایق مشابه و برای اتصال دو صفحه، از پوشینگ‌های فلزی هادی استفاده می‌شود. برای برقراری اتصال الکتریکی قفسه‌های مقاومتی با هم از شین‌ها و میله‌های مسی استفاده می‌شود. برای اطمینان از سالم بودن مقاومت‌های هر فاز باید مقدار مقاومت‌های هر فاز با دو فاز دیگر در هر مرحله با هم برابر باشند. در صورت برابر نبودن مقدار اهم فازها با هم استارتر دچار صدمه شده است. برخلاف استارترهای



الکترولیتی که در طول مدت استارت موتور، از مقدار مقاومت بصورت پیوسته و یکنواخت کاسته می‌شود در استارترهای روغنی تغییر مقاومت گسسته و پله‌ای انجام می‌شود و پس از اتصال کوتاه روتور توسط کنتاکتور اصلی استارتر از مدار خارج می‌شود. بنا به طراحی و شرایط موتور استارترها چند مرحله‌ای (پله‌ای) ساخته می‌شوند شکل 16 نمودار گشتاور-سرعت موتور مجهز با استارتر روغنی را در پله‌های مختلف نشان می‌دهد.

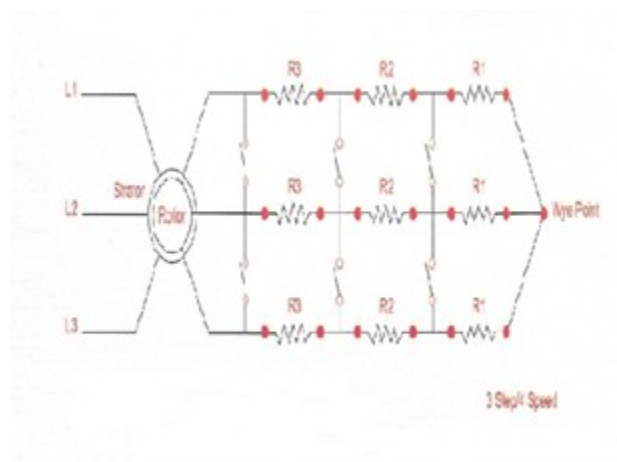


شکل 16 - منحنی گشتاور-سرعت موتور با استارتر روغنی

با توجه به شرایط محیطی و کاربرد، این استارترها می‌توانند دارای پمپ سیرکوله روغن و یا رادیاتور با فن برای بهبود تهویه باشند. معمولاً استارترهای روغنی در دمای 100 با آلارم و در 130 با توقف، حفاظت می‌شود. برای طراحی استارتر مناسب باید اطلاعات درستی در مورد: دمای محیط، نوع کاربرد، جریان روتور، ولتاژ روتور و قدرت نامی موتور در دسترس باشد. همانطور که در بخش استارترهای الکترولیتی عنوان شد با تغییر دمای الکترولیت، مقاومت الکترولیت تغییر نموده در نتیجه گشتاور راه اندازی و در پی آن جریان راه اندازی تغییر خواهد کرد ولی این مسئله در استارترهای روغنی مصداق ندارد و این تغییرات خیلی جزئی و تقریباً قابل اغماض است و اثر تعیین کننده‌ای در منحنی گشتاور-سرعت ندارد و می‌توان گفت گشتاور و جریان راه اندازی مستقل از دمای راه انداز می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که در اثر استارت‌های پیاپی و افزایش دمای روغن و تولید حبابهایی از گازهای محلول در روغن و افزایش حجم این گازها در مخزن روغن احتمال انفجار استارتر وجود دارد. استارترهای روغنی به دو دسته تقسیم می‌شوند.

7-1. استارتر روغنی کنتاکتوری

در نوع کنتاکتوری کاهش میزان مقاومت استارتر، کاملاً استاتیکی و با وصل کنتاکتورها یکی پس از دیگری بصورت الکتریکی بر اساس فرمان کنترلر انجام می‌شود و پس از کاهش مقاومت به حداقل در آخرین مرحله کنتاکتور اتصال کوتاه کننده، مدار روتور را اتصال کوتاه می‌کند و جذب باقی می‌ماند. پس از چند لحظه کلیه کنتاکتورها به استثنای کنتاکتور اصلی برای استارت بعدی رها می‌شوند. در شکل 17 یک استارتر کنتاکتوری سه مرحله‌ای نشان داده شده است. در مدل‌های قدیمی منطق زمان بندی و فرمان به کنتاکتورهای هر مرحله، به وسیله رله و تایمر و در مدل‌های جدید با استفاده از کنترلرهای قابل برنامه ریزی انجام می‌شود.



شکل 17 - مدار قدرت یک استارتر کنتاکتوری سه مرحله ای

7-2. استارتر روغنی غلطکی

در این نوع از استارترها، قفسه های صفحات مقاومتی همانند نوع کنتاکتوری ثابت هستند و به کمک یک سیستم موتور- گیربکس با یک محور عمودی، وظیفه تغییر مقاومت بصورت مکانیکی با اتصال پیچی کنتاکتهای مربوط به مقاومتهاى هر مرحله انجام می شود. در این نوع از استارترها به علت متحرک بودن برخی از اجزاء، استهلاک بیشتری نسبت به نوع کنتاکتوری وجود دارد. در شکل های 18 و 19 تصاویر از هر دو نوع استارتر نشان داده شده است.



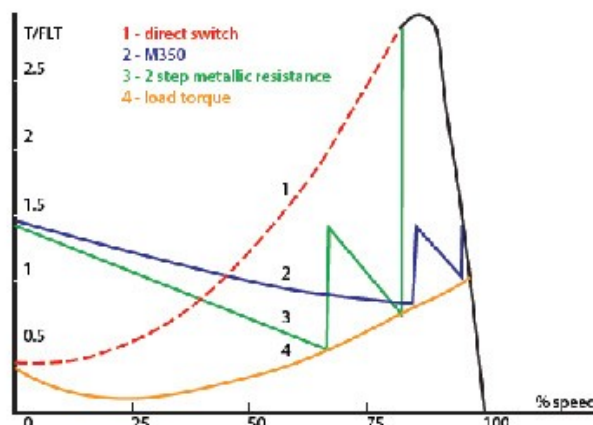
شکل 18- استارتر روغنی، نوع کنتاکتوری



شکل 19- استارتر روغنی، نوع غلطکی

12. نتیجه‌گیری

کاهش جریان راه اندازی یکی از دغدغه‌های همیشگی سازندگان و بهره‌برداران الکتروموتورهای القایی بوده است. یکی از کاربردهای مهم مقاومتهای صنعتی در کنترل الکتروموتورها میباشد، بدین معنی که با انتخاب مقاومت مناسب هم میتوان کمیات الکتریکی ورودی موتور را تحت کنترل قرار داد و هم میتوان کمیات مکانیکی خروجی موتور یعنی گشتاور و دور را در حد قابل ملاحظه‌ای متناسب با شرایط تغییر داد. در این مقاله، به بررسی انواع مختلف مقاومتهای راه انداز و چگونگی عملکرد آنها و همچنین نکاتی که بایستی در بحث تعمیرات و نگهداری این گونه از استارترها مورد توجه قرار گیرد پرداخته شده است. مهمترین مزیت موتور اسلیپ رینگ قابلیت گشتاور راه اندازی بالا در لحظه استارت میباشد که این خصیصه ناشی از روتور سیم پیچی شده آن است که قابلیت افزودن مقاومت مناسب به مدار آن نیز دارد. با اضافه کردن مقاومت به مدار روتور موتور اسلیپ رینگ میتوان منحنی گشتاور دور آن را تغییر داد. این تیپ مقاومت ها معمولا در صنعت سیمان و صنایع سنگین استفاده می شوند. مقاومت های خشک و الکترولیتی در این محدوده معمولا مقرون به صرفه تر می باشند.



شکل 20- مقایسه گشتاور راه اندازی در روشهای مختلف راه اندازها

12. مراجع

1. Yuan Youxin Xia Zezhong Wang Yalan Yuan PeigangPengWanquan, "A Soft Starter of Three Phase Asynchronous Motor", Proc. of IEEE Conference, pp. 563-567, 2013
2. Pensabene-Perez, N, "AN AUTOMATIC STARTING DEVICE FOR ASYNCHRONOUS MOTORS", Proc. of IET Journals & Magazines, pp. 484-496, 2015
3. Gui-xi, Jia; Yuan, Su, "Research on Soft Starter of Asynchronous Electromotor Based on Magnetically Controllable Reactor", Proc. Of IEEE Conference, pp. 549-552, 2010
4. Hu Wan-ting; Zhou Ya-jie; Ren Si-ming; Zhang Hai-yan, "A New Starting Method for Asynchronous induction Motor", Proc. Of IEEE Conference, pp. 341-344, 2011.
5. Bonnett, A.H, "The benefits of allowing for increased starting current in AC squirrel cage induction motors", Proc. of IEEE Conference, pp.93-98 2016
6. Patil, P.S.; Porate, K.B, "Starting Analysis of Induction Motor: A Computer Simulation by Etap Power Station", Proc. of IEEE conference, pp.494-499, 2012
7. www.cementtechnology.ir
8. <http://5.borna-co.com>
9. <http://paarsun.com>