@techpower

انتخاب موتور القایی مناسب در کاربردهای صنعتی

هاشم اورعی

دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی شریف

خلاصه

در این مقاله ضمن مرور میزان متوسط بازدهی در سیستم های محرک صنعتی اهمیت انتخاب مناسب موتور در این موارد از دیدگاه مصرف انرژی مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین اهمیت تطابق بین موتور و بار و بالابودن ضریب بار از نظر انرژی مصرفی و بازدهی سیستم محرک ـ موتور مورد تاکید قرار می گیرد. ملاحظات اقتصادی در انتخاب موتور مناسب در محرکهای صنعتی با استفاده از "زمان متوسط بین دو خرابی " و "زمان متوسط تعمیر" بر شمرده شده و با مقایسه بازدهی روشهای مختلف کنترل سرعت موتور رابطه ای برای محاسبه توان مکانیکی خروجی سیستم موتور ـ محرک ارائه می شود. سپس ضمن بررسی نحوه و میزان تاثیر بازدهی و ضریب توان موتور یا بار، تاثیر استفاده از خازن بر ضریب توان مورد بررسی قرار می گیرد. در خاتمه استفاده از انواع مختلف کنترل کننده های موتور در کاربردهای صنعتی شامل اینورترها و سیکلوکنورتورها و مزایای نسبی آنها مورد بررسی قرار می گیرد.

واژه های کلیدی: موتور القایی ـ محرک صنعتی ـ انتخاب موتور ـ تطبیق بار ـ کنترل موتور.

@techpower

۱- مقدمه

در موتورهای القایی جریان متناوب، سه فاز با روتور قفس سنجابی توان الکتریکی از طریق شبکه به قسمت ثابت ماشین یعنی استاتور منتقل شده و هیچگونه اتصال الکتریکی بین شبکه و قسمت چرخشی ماشین یعنی روتور وجود ندارد . موتورهای قفس سنجابی این مزیت بزرگی است زیرا نه تنها مراحل ساخت روتور سهل گشته بلکه با حذف سیم پیچی روتور و جایگزینی آن با هادی مس یا آلومینیومی عمر مفید روتور به میزان قابل توجهی افزایش می یابد. لیکن در این حالت بدلیل عدم دسترسی به سیم پیچ روتور. ماشین بصورت ولتاژ و سرعت ثابت درآمده و درحال عادی دارای جریان راه اندازی زیاد و گشتاور راه اندازی کم می باشد[۱].برای رفع این عیوب در عمل با تغییرات کمی در روتور می توان مشخصه های راه اندازی موتور را به میزان قابل توجهی بهبود بخشید. همچنین با به کارگیری روشهای خاص طراحی در سیم پیچی استاستور می توان قابلیت کار موتور در چهار سرعت ثابت را، در کار دایم ایجاد کرد [۲].

از اوایل دهه ۱۹۵۰ میلادی که استفاده از ابعاد بدنه استاندارد و بار دائم حداکثر (MCR) مطرح گردید، بازدهی موتورهای القایی سه فاز با روتور قفس سنجابی شاهد افزایش قابل توجهی بوده است. لذا در دهه های اخیر بطور مداوم ابعاد بدنه برای توان خروجی ثابت کاهش یافته و بدین ترتیب بازدهی موتور روند صعودی داشته است.

حداکثر بازدهی برای موتورهای القایی با توان خروجی ۷۵۰ وات تا ۱۰۰ کیلووات در محدوده ۷۳ تا ۹۲٪ قرار داد. لذا در شرایط مطلوب بازدهی متوسط برای این موتورها را می توان ۸۰٪ در نظر گرفت [۳].

۲- مصرف انرژی

در سالهای اخیر کاهش انرژی مصرفی در صنایع بدلایل اقتصاد وزیست محیطی اهمیت بیشتری یافته و موجب شده است که اقدامات علمی گسترده در این زمینه بعمل آید. در اکثر مقالات منتشر شده روشهای جدیدی در زمینه های مختلف از جمله بالا بردن کیفیت عایق بندی ساختمانها و خطوط انتقال بخار، افزایش بازدهی بویلرها و مشعلها و همچنین بکارگیری سیستمهای بازیافت انرژی گرمایی تلف شده ارائه شده است.

علیرغم اینکه یکی از بزرگترین مصرف کنندگان انرژی الکتریکی در بخش صنعت موتورهای الکتریکی می باشند، لیکن در زمینه افزایش بازدهی مبدلهای انرژی الکتریکی به مکانیکی مستقر در صنایع اقدامات علمی و عملی چندانی بعمل نیامده است. بدیهی است میزان مصرف انرژی الکتریکی توسط محرکهای صنعتی در هر کشور وابسته به سطح صنعتی بودن و بازدهی متوسط محرکها دارد. بعنوان مثال در کشورهای پیشرفته این نسبت در محدوده ۶۰- ۵۰ درصد قرار دارد [۴]، در حالیکه در ایران این نسبت در حدود ۳۸٪ است [۵]. البته پایین بودن مقدار متوسط بازدهی موتورهای الکتریکی مستقر در صنایع کشور را نیز باید مد نظر قرارداد. بدیهی است محرک های صنعتی نه تنها از نظر اقتصادی مورد توجه استفاده کنندگان می باشد بلکه در برنامه ریزی انرژی در سطح ملی نیز حائز اهمیت است.

ممکن است که از نظر مصرف کننده بازدهی موتورهای الکتریکی در مقایسه با بسیاری از تجهیزات صنعتی دیگر در حد مطلوبی باشد لیکن از دیدگاه کلان، با در نظر گرفتن تلفات نیروگاه ها و خطوط انتقال، قابل توجه بودن میزان تلفات آشکار می شود.

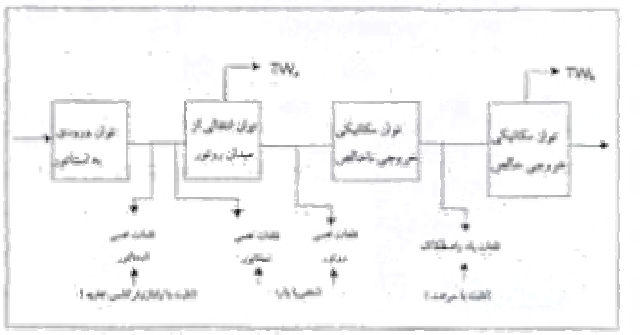
در بسیاری از کشورها از جمله ایران تحقیقات بعمل آمده حاکی از آن است که با انجام اقداماتی می توان به صرفه جویی قابل توجهی در مصرف انرژی الکتریکی محرکهای مکانیکی مستقر در صنعت دست یافت[۶ ، ۵] کاربردهای صنعتی بسیاری می توان یافت که موتورها در بازدهی بسیار پایین تر از مقدار حداکثر قرار دارند. به عنوان مثال، متوسط توان مصرفی در یک موتور القایی سه فاز صنعتی تنها ۲۸ درصد توان نامی اندازه گیری شده است. بدیهی است پایین بودن توان خروجی تا این حد تاثیرات منفی قابل توجهی بر بازدهی و ضریب توان موتور خواهد داشت. در موتورهای بکار رفته در هوا کش ها نیز عموماً توان خروجی بسیار پائین تر از توان نامی موتورها است.

انتخاب موتور در اکثر موارد بدون توجه به بازدهی موتور انجام شده و تنها در محرکهای بسیار بزرگ این موضوع مد نظر قرار می گیرد. از عوامل اصلی در انتخاب موتور قیمت خرید و موجود بودن موتور بشمار می آید. سازندگان موتورهای الکتریکی نیز برای برآورده ساختن خواسته خریداران، مبنای کار را عوامل فوق در نظر گرفته و تنها در این موارد به رقابت می پردازند. لیکن با افزایش قیمت انرژی، استفاده کنندگان از موتورهای الکتریکی به اهمیت هزینه انرژی تلف شده در طول عمر مفید عمر مفید موتور پی برده و رفته رفته نحوه محاسبات اقتصادی بر مبنای

"قیمت در عمر مفید" تغییر یافته است، بطوریکه به غیر از قیمت اولیه خرید، هزینه انرژی تلف شده در عمر مفید موتور نیز باید مد نظر قرار گیرد. بدین ترتیب در انتخاب موتور، بازدهی و ضریب توان از مهمترین عوامل بشمار آمده و حتی در محرکهای کوچک نیز بدلیل کثرت تعداد آنها حائزاهمیت می باشد.

۳- تلفات موتور القایی و محرک

در یک سیستم موتور الکتریکی و محرک صنعتی، ابتدا باید تلفات در موتور القایی را در نظر گرفت. در شکل ۱ انواع مختلف تلفات در یک موتور القایی نشان داده شده است.



با توجه به شکل ۱ می توان نتیجه گرفت که در موتورهای القایی سه فاز، لغزش به صورت متناسب با تلفات اهمی روتور و معکوس با توان انتقال یافته از میدان مغناطیسی استاستور و روتور تغییر می یابد. با در نظر گرفتن سیستم موتور ـ محرک، توان مکانیکی خروجی را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$P_m = P_e \times n_e \times n_m \times n_t \quad (1)$$

P_m = توان مکانیکی خروجی P_e = توان الکتریکی ورودی

n_e = بازدهی کنترل کننده n_m = بازدهی موتور

n_t = بازدهی قسمتهای مکانیکی محرک

کنترل کننده، موتور و محرک قسمتهای اصلی یک سیستم محرک صنعتی برای تامین بار مکانیکی مشخص بشمار می آیند. تلفات الکتریکی سیستم عمدتاً شامل موارد زیر می باشند:

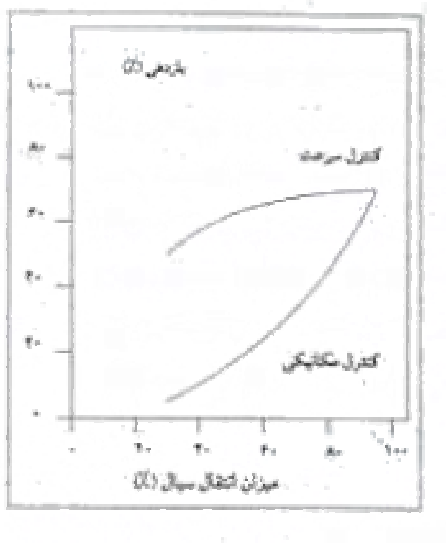
الف) تلفات اهمی و مغناطیسی در موتور و کنترل کننده

ب) تلفات اهمی در کابهای اتصال و ترانیسفورمر تغذیه

تلفات فوق را می توان به ترتیب با افزایش بازدهی و ضریب توان موتور کاهش داد. تلفات مکانیکی نیز در بلبرینگ ها و گیربکس ها و بصورت باد و اصطکاک ظاهر می شوند.

۴- ملاحظات اقتصادی

بیشتر پمپها و هواکش ها با استفاده از موتورهای القایی بدون کنترل سرعت تغذیه می شوند. لیکن در سالهای اخیر با پیشرفت تکنولوژیک الکترونیک قدرت، استفاده از موتورهای القایی قفس سنجابی همراه با کنترل اینورتری گسترش یافته است. در بیشتر ایستگاه های دمنده و پمپاژ سرعت انتقال سیال با استفاده از میراکننده ها، شیرهای تنظیم کننده و یا باخاموش و روشن کردن یک یا چند انجام میگیرد. این روشها از هزینه اولیه پائینی برخوردار بوده لیکن بازدهی آنها همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود در حد پائین است.



استفاده از محرک های با سرعت متغیر امکان اعمال تغییرات لازم در سرعت موتور هواکش و یا پمپ را بطور دایم فراهم آورده و بدین ترتیب می توان با توجه به فرآیند مورد نظر از اتلاف انرژی ایجاد شده در تنظیم کننده های مکانیکی جلوگیری نمود. با تطبیق موتور به حداکثر بار ظرفیت ذخیره سازی مورد نیاز با توجه به فرآیند مورد نظر مشخص و هر گونه نیاز به خاموش و روشن کردن موتور حذف می شود. هم چنین کنترل سرعت دقیق و به

همراه آن توان خروجی قابل دسترسی بوده و با توجه به استفاده از مدارات الکتریکی، استهلاک قسمتهای کنترل کننده در حد بسیار پایین می باشد.

تصمیم گیری در مورد استفاده از موتور با سرعت متغیر بستگی به نوع کاربرد مورد نظر دارد. از آنجا که هزینه اولیه انی نوع محرکها بیشتر از سایر انتخابها بوده و از طرفی چون صرفه جویی ناشی از بالابودن بازدهی تنها به صورت کاهش هزینه راهبری نمایان می شود لذا تنها پس از مدت زمان نسبتاً طولانی می توان انتظار داشت که استفاده از محرکهای با سرعت متغیر منجر به صرفه جویی اقتصادی شود. زمان دو تا سه سال برای بازگشت سرمایه گذاری اضافی برای استفاده از موتور با سرعت متغیر معمول است، لیکن مدت دقیق بستگی به کاربرد خاص و برخی عوامل دیگر دارد. در هر حال محاسبات اقتصادی باید با توجه به عمر مفید سیستم انجام شده و در صورت بازدهی اقتصادی مطلوب نسبت به استفاده از سیستم با سرعت متغیر اقدام نمود. پس از انتخاب سیستم محرک مناسب، سرعت ثابت یا متغیر، لازم است هزینه های مختلفی در نظر گرفته شود. به غیر از هزینه انرژی مصرفی موتور که قسمت قابل توجهی از هزینه کل را تشکیل می دهد. هزینه های بهره سرمایه گذاری، استهلاک و نگهداری نیز باید محاسبه شوند. معمولاً زمان مورد نیاز برای سرویس و نگهداری مشخص است لیکن پیش بینی دقیق خرابی و زمان آن برای تجهیزات مختلف امری دشوار می باشد. استفاده از متغیرهایی چون "زمان متوسط بین دو خرابی" MTBE و " زمان متوسط تعمیر" MTTR تنها در مواردی که تعداد بسیار زیادی محرک در سیستم قرار دارند قابل استفاده بوده و کارایی دارند. در حالت کلی می توان بیان کرد که هر چه تجهیزات ساده تر باشند هزینه نگهداری آنها کمتر خواهد بود لیکن نمی توان به این دلیل در تمام کاربردها از بکارگیری محرک های پیچیده خودداری نمود. از آنجا که عمدتاً پیچیدگی تجهیزات بصورت مدارات الکتریکی استاتیک می باشد لذا می توان کارکرد طولانی بدون خرابی را انتظار داشت.

چنانچه اجزاء تشکیل دهنده سیستم محرک بگونه ای باشند که بتوان قطعات معیوب را به سهولت و سرعت شناسایی و تعویض نمود در اینصورت الزاماً پیچیدگی سیستم منجر به افزایش زمان متوسط تعمیر (MTTR) نخواهد شد.

در کاربردهایی که محرک با روشن و خاموش شدن بطور مداوم باری را از ارتفاع یا در زاویه پائین آورده و یا تغییرات مداوم در سرعت مورد نیاز باشد، استفاده ها از محرک های با سرعت متغیر می تواند موجب کاهش هزینه

راهبردی شود. در محرک های متداول، انرژی مصرفی در ترمزهای مکانیکی و یا مقاومت های الکتریکی تلف می شود. در چنین شرایطی با استفاده از محرکهای مدرن می توان بخش اعظم انرژی را بازیافت . هزینه سرمایه گذاری سیستم بازیافت انرژی می شود.

۵- عملکرد

به طور کلی در هر سیستم محرک و موتور نمی توان مشخصه عملکرد موردنیاز را از ملاحظات اقتصادی تفکیک کرد. در برخی فرآیندهای صنعتی استفاده از محرکهایی با عملکرد مشخص الزامی است و در مواردی دیگر تنها یک سیستم محرک و موتور خاص قابلیت انجام کار را دارا می باشد.

متاسفانه در اکثر موارد مهمترین عامل در انتخاب محرک قیمت اولیه است. بدین معنی که سیستم برمبنای کمینه بودن هزینه اولیه انتخاب می شود در حالیکه در طول عمر مفید آن هزینه قابل توجهی مصرف انرژی تلف شده و یا تعمیر و نگهداری می شود.

برخی از مشخصه های عملکرد مهم عبارتند از :

- گشتاور خروجی و تغییرات آن با سرعت و زمان (آیا گشتاور در جهت معکوس مورد نیاز است؟)
- محدوده تغییرات سرعت (آیا چرخش در جهت معکوس مورد نیاز است؟)
- توان نامی
- دقت و سرعت پاسخ سیستم به کنترل سرعت و گشتاور
- تعداد دفعات خاموش و روشن شدن
- تطابق سرعت با سایر محرکها در سیستم

در برخی موتورها، بویژه موتورهای بزرگ شرایط محیطی چه از نظر شبکه الکتریکی و چه از نظر بار مکانیکی حائز اهمیت است. به عنوان مثال تغییرات و یا قطع ولتاژ شبکه ممکن اس غیر قابل قبول باشد.

۶- بازدهی و ضریب توان

به طور کلی بازدهی و ضریب توان موتور با بالا رفتن توان خروجی افزایش می یابد. هم چنین با کاهش سرعت نامی موتور، از ضریب توان موتور کاسته می شود. بدین ترتیب موتورهای القایی با سرعت بالا از بازدهی بیشتری برخوردارند، لیکن در برخی کاربردها ممکن است با استفاده از موتور با سرعت پائین، بازدهی کلی سیستم را افزایش داد.

موتورهای القایی با بازدهی بالا را می توان برای بیشتر کاربردها در سرعت و بار متفاوت بکار گرفت. بدیهی است انتخاب این نوع موتورها باید بر مبنای ملاحظات اقتصادی و با توجه به کاربرد مورد نظر صورت پذیرد. [۷].

بازدهی موتور در توان نامی وابسته به سازنده موتور می باشد. چنانچه دو موتور مشابه A و B بار مشخص را بصورت جداگانه با بازدهی متفاوت تغذیه نمایند، رابطه زیر را می توان برای محاسبه صرفه جویی اقتصادی قابل حصول در اثر استفاده از موتور با بازدهی بیشتر بکار برد.

$$S = P \times C \times N\left[\frac{100}{n_B} - \frac{100}{n_A}\right] \quad (2)$$

وقتیکه

S= صرفه جویی به ریال درسال

P= توان نامی بار به کیلووات

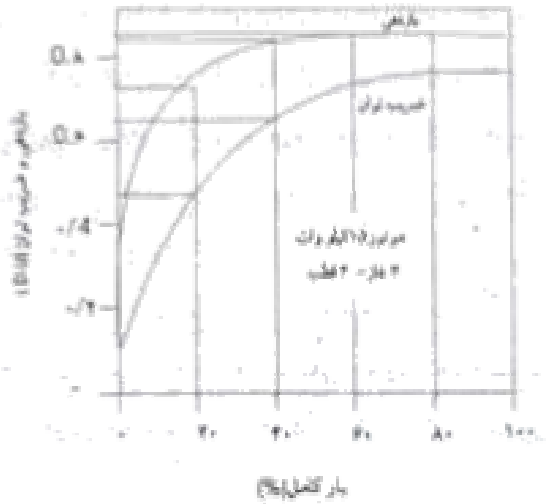
C=هزینه انرژی به ریال برکیلووات ساعت

N= زمان کار به ساعت در سال

n_A = بازدهی موتور A به درصد

n_B = بازدهی موتور B به درصد

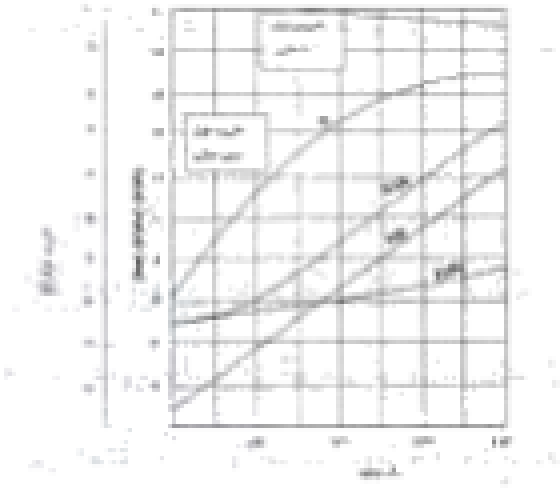
در رابطه (۲) n_A و n_B مقادیر بازدهی در بار ثابت مورد نظر می باشند. در بارهای متغییر با زمان این رابطه را می توان برای قسمتهایی از سیکل کاری که مقدار بار برای زمان قابل توجهی تقریباً ثابت است بکار برد. برای انتخاب اقتصادی نهایی باید صرفه جویی محاسبه شده با تفاوت قیمت اولیه دو موتور نیز مقایسه شود. از نظر صرفه جویی در انرژی مصرفی، معمولاً بهترین پیشنهاد آن است که مناسب ترین موتور از نظر میزان و نوع بار انتخاب شود. لیکن در برخی موارد کاربرد موتور و نحوه تغییرات بار بازمان نیز باید مد نظر قرار گیرد. اهمیت این موضوع از آنجاست که بازدهی و ضریب توان موتور تابعی از شرایط بار است [۸]. نحوه انی تغییرات برای یک موتور القایی سه فاز ۱۵ کیلووات در شکل ۳ آمده است.



همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود بازدهی موتور در محدوده ۱/۰۰ ـ ۰/۷۵ بار کامل تقریباً ثابت است. با کاهش بیشتر میزان بار، بازدهی موتور نیز بسرعت کاهش می یابد. لیکن هر گونه کاهش در میزان بار از بار کامل، مستقیماً ضریب توان موجب افزایش جریان خط در بار ثابت شده و لذا برای جلوگیری از افزایش تلفات باید از کابلهای اتصال ضخیم تری استفاده کرد.

افزایش هزینه انرژی موجب طراحی و ساخت موتورهای القایی با بازدهی بالا شده است که در محدوده توان ۱۵۰– ۱ کیلو وات متوسط بازدهی آنها در کاربردهای صنعتی به میزان ۵– ۳٪ بیشتر از موتورهای متداول است[۶]. هم چنین در حال حاضر قیمت این موتورها در حدود ۲۵٪ بیشتر از موتورهای معمول بوده که بدین ترتیب زمان بازگشت سرمایه کمتر از دو سال است.

خازنهای با کلید می تواند برای تثبیت ولتاژ و جلوگیری از ورود ولتاژ ضربه به داخل سیستم و تاثیر نامطلوب بر مدارات فرمان مورد استفاده قرار گیرند. همچنین موتورهای القایی، بدون استفاده از خازن، در مقایسه با سایر تجهیزات مقدار زیادی توان راکتیو از شبکه دریافت می کنند. لذا برای جلوگیری از افزایش جریان خط بهتر است از خازن بعنوان قسمتی از سیستم موتور و محرک استفاده شود. در این صورت هزینه انرژی مصرفی موتور کاهش یافته و اهمیت این موضوع با بالا رفتن مقدار بار افزایش می یابد. بویژه در مواردی که مقدار بار صنعتی قابل بار افزایش می یابد. بویژه در مواردی که مقدار بار صنعتی قابل مقایسه با ظرفیت اسمی خطوط انتقال و یا ایستگاههای تبدیل ولتاژ باشد این موضوع حائز اهمیت می باشد. نحوه و میزان تاثیر خازن در اصلاح ضریب توان یک موتور القایی سه فاز قفس سنجابی با توان و سرعت و متوسط در شکل ۴ آمده است.



در بار کامل ضریب توان یک موتور القایی سه فاز قفس سنجابی با توجه به نوع و سرعت آن در محدوده ۹۰-۸۰٪ قرار دارد. لیکن با پائین آمدن مقدار بار، ضریب توان به شدت کاهش می یابد. از طرفی عموماً موتورهای القایی در حالت بار کامل نبوده و در حداکثر اوقات موتور به مراتب بزرگتر از نیاز بار است. بدین ترتیب در کاربردهای صنعتی در بیشتر اوقات ضریب توان درحد پائینی قرار دارد. با وجود اینکه ضریب توان موتور القایی از بی باری تا بار کامل تغییرات زیادی دارد لیکن تغییرات در توان راکتیو و ورودی به ماشین در این محدوده محسوس نیست و این مشخصه موتورهای القایی قفس سنجابی استفاده از خازن در اصلاح ضریب توان را بسیار مطلوب می کند.

۷- کنترل کننده موتور

در انتخاب موتور برای کاربردهای مشخص باید موتور و کنترل کننده (راه انداز) آنرا به صورت یک سیستم واحد در نظر گرفت. راه انداز موتور تعیین کننده میزان گشتاور شتاب دهنده و زمان مورد نیاز برای شتاب گرفتن بار است. انواع مختلف راه انداز برای موتورهای القایی وجود دارد که از آن جمله می توان به کنترل کننده های الکترونیکی(کنورتورهای تریستوری DC و یا سیکلوکنورتورها) و یا الکترومکانیکی (با استفاده از کنتاکتور و مقاومت اشاره کرد بازدهی این کنترل کننده ها با توجه به نوع آنها متفاوت است.

۸- اینورترها

اینورترها ولتاژ DC ورودی را به ولتاژ AC با فرکانس متغیر تبدیل کرده و در انواع گوناگون بامزایا و معایب نسبی یافت می شوند. در بیشتر آنها از تریستورهای سریع و مداراتی برای کموتاسیون اجباری استفاده شده است. چنانچه منبع تغذیه DC موجود نباشد، برای استفاده از اینورتر ابتدا باید ولتاژ AC شبکه را با یکسوسازی به DC تبدیل کرد.

تا اواخر دهه گذشته موتورهای القایی با کنترل اینورتری در کاربردهایی مورد استفاده قرار می گرفت که استفاده از موتورهای AC تنها انتخاب بود. لیکن در سالهای اخیر پیشرفت در تکنولوژی الکترونیک قدرت و پیدایش مدارات مرکب و بکارگیری میکروپرسسورها در مدارات کنترل موجب کاهش پیچیدگی و قیمت این کنترل کننده ها گردیده است. لذا می توان انتظار داشت که در سالهای آینده نیز موتورهای القایی با کنترل کننده های اینورتری بیش از پیش با محرکهای DC رقابت نمایند.

۹- سیکلوکنورتورها

تئوری مربوط به نحوه عملکرد سیکلوکنورتورها قدیمی بوده و در حدود ۶۰ سال قبل اولین مقالات علمی در این زمینه منتشر گردیده است. لیکن تنها در یکی دو دهه اخیر بدلیل پیشرفت تکنولوژی در اجزاء مدارات کنترل، استفاده از این مبدل ها رایج شده است . این مبدل ها مستقیماً و بدون نیاز به ارتباط میانی DC، ولتاژ شبکه AC را به ولتاژ با فرکانس متغیر تبدیل می کنند. برای توان های خروجی بالا (بیش از ۵۰ کیلووات) برای هر فاز خروجی از یک پل دو فاز استفاده می شود. در این مبدل ها از تریستورهای معمول کنورتوری استفاده شده و نیازی به استفاده از تریستور و یا خازن اضافی برای کموتاسیون نیست. و نیازی به استفاده از تریستور و یا خازن اضافی برای کموتاسیون نیست. این کنورتورها قابلیت کار در حالات موتوری و ترمز را دارا بوده و می توانند موتور را در هر دو جهت چرخش تغذیه نمایند.

۱۰- نتیجه گیری

عوامل متعددی در بازدهی کلی یک سیستم موتورـ محرک نقش دارند که مهمترین آنها ضریب توان ، ضریب بار و ملاحظات اقتصادی بشمار می آیند. همچنین، ابعاد و قیمت بر کیلووات توان خروجی در موتورهای القایی با بالا رفتن تعداد قطب ها افزایش می یابد. از طرفی با زیاد شدن تعداد قطب ها، بازدهی و ضریب توان موتور کاهش می یابد.

موتورهای القایی با بازدهی بالا خنک تر و آرام تر کار کرده و حساسیت کمتری به افزایش و کاهش ولتاژ شبکه از خود نشان می دهند و بطور کلی از عمر مفید بیشتری برخوردارند.

مراجع

1- Say , M.G., 1970, "The Performance and Design of Alternating Current Machines", Third Edition, Pitman Publishing Corporation, New York.

2- Rosenberg,R.,1969,"Electric Motor Repair", Holt – Rinchart, New York.

3- Buschart, R.J., 1979, " Motor Efficienty" IEEE Trans. On I.A., Vol. IA-15, No.5.

4- Fei, R., et al., 1989, "Comparison of two optimization techniques as applied to 3-phase induction motor design", IEEE Trans. On EC, Vol. EC- 4, No.

۵- اورعی، هاشم، پروژه تحقیقاتی بهینه سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی "، گزارش اول : بررسی آماری میزان انرژی مصرفی موتورهای الکتریکی به نسبت کل مصرف انرژی ایران و تفکیک آن از نظر نوع و توان خروجی، وزارت نیرو ، معاونت انرژی، سازمان بهره وری انرژی، ۱۳۷۵.

6- "Higher Efficiency Induction Motors", 1995, Final Report of the Joint Project, Brook Hansen Ltd. & Orb Electrical Steels, Energy Efficiency Office, Department of Trade & Industry, UK.

7- Diamant , P., 1981, "The High Efficiency Induction Machine of the 1980", IEEE Trans. On PAS, Vol. PAS- 100, No.2.

۸- حسینیان، جلیل، " بررسی فنی و اقتصادی موتورهای راندمان بالا". پروژه کارشناسی ، دانشگاه صنعتی شریف ، ۱۳۷۳.