



افزایش بهره‌وری پمپهای واحد الین نیروگاه مشهد با استفاده از درایوهای اینور توری

محمد حسین جاویدی
استاد گروه برق دانشگاه
فردوسی مشهد

ابوالفضل قاسمی
دانشجوی ارشد برق-قدرت
لابراتوار تخصصی تجدید
ساختار دکتر جاویدی

مهدی ظریف
دانشجوی دکتری برق-قدرت
لابراتوار تخصصی تجدید
ساختار دکتر جاویدی

اباذر دهقان پور
شرکت مدیریت تولید برق مشهد

دفتر تحقیقات

شرکت برق منطقه‌ای خراسان

واژه های کلیدی: نیروگاه، درایو نرم، پمپ، صرفه‌جویی انرژی

چکیده

با گسترش روزافزون مصرف انرژی الکتریکی و افزایش هزینه‌های تولید، نیاز به صرفه جویی در مصرف، بیش از پیش احساس می‌شود. نیروگاهها به عنوان پیشگامان تولید، میتوانند با بهینه‌سازی سیستمهای موجود و یا اصلاح آنها سهم بسزائی در این کار داشته باشند. به همین منظور جهت افزایش بهره‌وری واحد الین نیروگاه مشهد و با توجه به عدم استفاده از سیستم درایو نرم در پمپهای واحد الین، به بررسی مزایای استفاده از این سیستم پرداخته و از لحاظ اقتصادی با در نظر گرفتن پروفیل بار به بررسی نتایج آن پرداخته‌ایم.

۱- مقدمه:

سیستمهای پمپاژ به در کشورهای صنعتی بطور متوسط نزدیک به ۳۰٪ برق تولیدی را مصرف می‌کنند که پمپهای قدیمی تر

معمولا توسط موتورهای القایی و موتورهای سنکرون بحرکت در می‌آیند (اکثرا موتورهای القایی نوع قفسه سنجابی) و اخیرا موتورهای سوئیچ رلوکتانس^۱ نیز استفاده میشود [۱]. مصرف انرژی الکتریکی پمپها در امریکا ۳۱٪ می باشد. مطالعات مختلف نشان داده است که با بهینه‌سازی خطوط لوله ها، پمپها و سیستمهای کنترل آنها میتوان بین ۳۰ تا ۵۰٪ در مصرف انرژی آنها صرفه‌جویی نمود. سیستمهای کنترل قدیمی در بهبود انرژی مصرفی نمی‌توانند تاثیرگذار باشند. استفاده از درایو های سرعت متغیر با کمک مبدل‌های الکترونیک قدرت برای بهبود انرژی مصرفی بکار می‌روند [۲]. همچنین مرجع [۳] مبدل های الکترونیک قدرت را در درایو پمپهای رلوکتانسی مورد بررسی قرار داده است. در بسیاری از طرحها در طول دوره عمر مفید یک پمپ نزدیک به نیمی از

¹ switched reluctance

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

محور موتور میباشد. مشکل اصلی در صنایع کشور آن است که در اغلب موارد تطابق مطلوبی بین مشخصه های بار و موتور وجود ندارد. توان اغلب موتورها بیش از بار متصل به محورشان می باشد و با توجه به اینکه قیمت تمام شده موتور متناسب با توان آن می باشد، بدیهی است انتخاب موتور با توان بیش از نیاز بار، علاوه بر افزایش هزینه اولیه موتور موجب افزایش سایر هزینه ها از قبیل کابل کشی و نصب و راه اندازی و تعمیر خواهد شد. از طرف دیگر در صورتیکه موتور انتخاب شده بزرگتر از حد لازم باشد در این صورت موتور در حالت بار کامل و یا نزدیک به بار کامل کار نکرده و لذا بازدهی آن پایین تر از مقدار حداکثر آن خواهد بود و خود این امر اشکالات جدی در بهینه سازی مصرف انرژی ایجاد خواهد کرد. در موتورهای القائی سه فاز در صورت کاهش میزان بازدهی موتور، به ویژه به میزان کمتر از ۸۰٪ بار کامل، شاهد کاهش قابل توجه در بازدهی موتور خواهیم بود. متأسفانه در اکثر موارد به این نکته توجه نشده و تنها تاثیر نامطلوب انتخاب موتور بزرگتر از حد لازم بر هزینه اولیه مورد توجه قرار می گیرد. در صورتیکه محاسبات انجام شده حاکی از آن است که تاثیر انتخاب نامناسب موتور بر هزینه های متغیر (هزینه اتلاف انرژی اضافی) قابل توجه و بر مراتب بیش از افزایش هزینه ثابت اولیه می باشد.

الف-۳- کیفیت توان

مسائل کیفیت توان شبکه شامل کلیه اختلالات شبکه برق مثل عدم تقارن در ولتاژ، افت ولتاژ، چشمک زدن، اسپایک، هارمونیکها و نظایر آن میشود. از آنجا که کیفیت توان تاثیر زیادی در اتلاف انرژی دارد، لازم است یک گروه مجرب وضعیت شبکه برق و تاسیسات برقی را زیر نظر داشته باشد.

الف-۴- تثبیت ولتاژ شبکه

تا آنجا که ممکن است باید ولتاژ اعمالی به موتور نزدیک به ولتاژ کار موتور باشد. گرچه تغییرات ۱۰٪ در ولتاژ موتور مجاز است اما از نقطه نظر اتلاف انرژی میزان انحراف از ولتاژ نامی موتور باید کمتر از ۵٪ باشد. تغییر ولتاژ موتور موجب

هزینه‌ها مربوط به هزینه برق مصرفی می باشد. در حالی که هزینه اولیه خرید و نصب پمپ در حد ۱۰٪ کل هزینه های عمر مفید پمپ را شامل میشود.

استفاده منطقی از انرژی، حفظ منابع انرژی، اصلاح میزان مصرف انرژی در بخشهای مصرف کننده انرژی، کاهش گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا، اصلاح وضعیت موجود و کسب برتری رقابتی در بنگاههای اقتصادی را میتوان از اهداف بهینه سازی مصرف انرژی بیان نمود.

در این مقاله نخست روشهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی را مورد بحث قرار می دهیم. سپس کاربرد درایوها در کنترل موتورهای الکتریکی و تاثیر آنها می توانند در صرفه‌جویی مصرف انرژی بگذارند به طور خاص بر روی پمپهای واحد الین نیروگاه مشهد مورد بررسی قرار می دهیم.

۲- اقدامات مختلف برای صرفه جویی انرژی الکتریکی در

الکتروموتورهای صنعتی:

۲-۱ اقدامات روی موتور

اقدامات روی موتور به دو دسته مکانیکی و الکتریکی تقسیم میشود، که به بررسی آنها پرداخته میشود.

الف- اقدامات الکتریکی

الف-۱- انتخاب موتور مناسب

موتورهای القائی سه فاز و تک فاز به دلیل تنوع مصرفی، در جاهای زیادی مورد استفاده قرار می گیرند. مشخصه های بارمکانیکی ناشی از کاربرد و مورد مصرف می باشد. بدیهی است موتور در صورتی می تواند بار مکانیکی متصل به آن را تامین کند که مشخصه عملکردی موتور منطبق بر مشخصه بار مکانیکی باشد.

الف-۲- تطابق موتور و بار

همانطور که در بالا اشاره شد موتور و بار دارای مشخصه های خاص خود می باشند. منظور از تطابق بین موتور و بار، انطباق بین مشخصه های موتور و مشخصه های بار متصل به

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

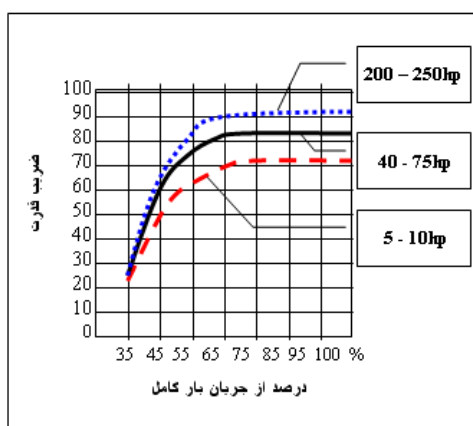
برای مثال اگر ولتاژهای فاز بترتیب ۴۶۲ و ۴۶۳ و ۴۵۵ ولت باشد. متوسط ولتاژ سه فاز برابر با ۴۶۰ ولت میشود و در صد عدم تقارن بصورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$[(460 - 455) \div 460] * 100 = 1.1\%$$

الف-۶- ضریب قدرت

ضریب قدرت پائین موجب افزایش جریان کابلها و ترانسفورماتورها و افت ولتاژ شده و بدین ترتیب باعث کاهش ظرفیت سیستم تغذیه میشود. ضریب قدرت پائین ناشی از بار کم در شفت موتور است. در شکل (۳) منحنیهای ضریب قدرت برای بارهای مختلف و رنجهای توانی متفاوت موتورها آمده است.

$$\cos \phi = \frac{KW}{KVA} \quad (1)$$



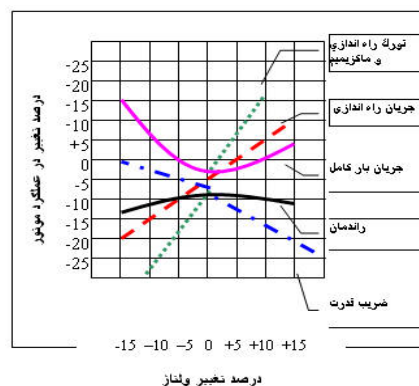
شکل (۳): تغییرات ضریب قدرت متناسب با بار موتور

به وضوح مشاهده میشود با کاهش بار موتور ضریب قدرت تغییرات قابل توجهی میکند.

الف-۷- استفاده از درایوهای الکترونیکی

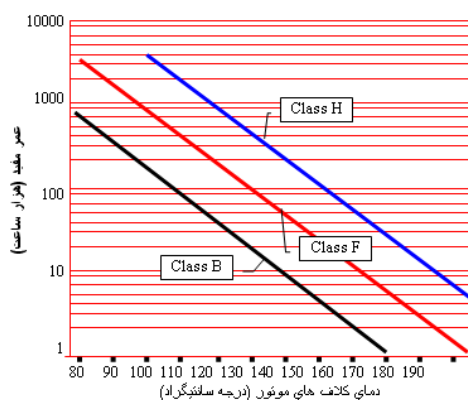
اصول کار درایوها و محاسبات مربوط به آنها در انتهای بحث به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته است. در فنرها و پمپ های ساترینفوژ، استفاده از درایوها بیشتر توصیه میگردد. زیرا در این دو دستگاه گشتاور متناسب با توان دوم سرعت و توان متناسب با توان سوم سرعت است.

افت ضریب قدرت، عمر مفید موتور و راندمان میگردد شکل (۱).



شکل (۱): بررسی تاثیر تغییرات ولتاژ اعمالی به موتور روی گشتاور (تورک)، جریان راه اندازی، جریان بار کامل، راندمان و ضریب قدرت

اگر ولتاژ موتور بیش از ۵٪ کاهش پیدا کند، راندمان بین ۲ تا ۴ درصد افت پیدا کرده و دمای موتور حدود ۱۵ درجه افزایش می یابد و این افزایش دما عمر عایق موتور را کاهش خواهد داد. در شکل (۲) عمر موتور در دماهای کار مختلف و با کلاسهای عایقی مختلف نشان داده شده است.



شکل (۲): بررسی تاثیر دمای کلافهای موتور روی عمر مفید آن برای موتورهای با کلاس عایقی مختلف

الف-۵- عدم تقارن فاز

عدم تقارن فاز باید کمتر از ۱٪ باشد. عدم تقارن فاز بصورت زیر توسط NEMA تعریف شده است:

$$NEMA(\%) = [(\text{مقدار ولتاژ} - \text{حداکثر مقدار ولتاژ سه فاز}) \div (\text{حداکثر انحراف ولتاژ از مقدار متوسط ولتاژ سه فاز})] * 100$$

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

$$P \propto n^3 \quad T \propto n^2 \quad (2)$$

باید توجه داشت رابطه تئوری بین سرعت فن و توان مصرفی موتور شامل محاسبه عکس العمل‌های داخلی کل سیستم نمی باشد. همچنین اثر فشار برگشتی استاتیک در کارکرد سیستم کانال هوا یا اثر فشار هد استاتیک در کاربرد پمپ سانتریفوژ را در نظر نمیگیرند. اندازه بزرگی فشار برگشتی استاتیک اثر معکوسی روی توان مصرفی و صرفه جوئی انرژی دارد. با این شرایط بهتر است به جای توان سوم از توان دوم استفاده گردد.

$$P \propto n^2 \quad (3)$$

ب- اقدامات مکانیکی

اقدامات عملی ساده‌ای منجر به افزایش راندمان کار می‌گردد به عنوان مثال مقدار معمول جریان بی باری در موتورهای القائی سه فاز در محدوده ۳ تا ۵ درصد جریان نامی موتور است. ولی در بررسی‌های بعمل آمده مشاهده شده است که در اکثر موارد جریان بی باری موتور بیشتر از این مقدار بوده و در برخی موارد تا ۱۲٪ جریان نامی افزایش یافته است. این افزایش در جریان بی باری موتور بعلت عدم نگهداری صحیح از موتور است. در اکثر موارد این شرایط نامطلوب در حالات بارگذاری نیز مشاهده می‌شود. به این معنی که با اعمال بار مکانیکی غیر مفید به محور موتور، بصورت اصطکاکهای مکانیکی ناشی از عدم نگهداری صحیح، موجب میشود که موتور بار اعمال شده را در جریان الکتریکی بیشتری تامین می‌کند و در واقع بخشی از توان الکتریکی ورودی صرف تامین بار و قسمت دیگر آن برای غلبه بر اصطکاک مکانیکی مصرف می‌شود.

بایستی توجه داشت که:

- در بسیاری از موارد عدم نگهداری صحیح از قسمت‌های چرخان موتور به ویژه بلبرینگ محور موتور، موجب ایجاد بار مجازی ناشی از افزایش اصطکاک مکانیکی شده و لذا جریان ورودی موتور در حالت بی باری و بار از حد مطلوب و اعلام شده توسط سازنده بیشتر خواهد شود

- افزایش جریان ورودی موتور موجب بالا رفتن تلفات اهمی و حرارت ایجاد شده در سیم پیچ شده و لذا درجه حرارت اطراف سیم پیچ افزایش خواهد یافت.

از مشخصات بارز تلفات مکانیکی موتور دشواری محاسبه میزان و تعیین منابع آن است. بخش عمده تلفات مکانیکی در قسمت‌های چرخان موتور بوده و ناشی از اصطکاک و بار می باشد و لذا میزان تلفات مکانیکی تا حد زیادی وابسته به شرایط نگهداری موتور دارد، با روغن کاری مناسب و بموقع بلبرینگ و نظافت قسمت‌های چرخان موتور و همچنین اطمینان از بالانس بودن محور، میتواند تلفات مکانیکی موتور را به حداقل رساند.

بدین ترتیب در ارتباط با تلفات مکانیکی موتور میتوان موارد زیر را اظهار داشت:

۱- میزان تلفات مکانیکی تابعی از شرایط نگهداری موتور می باشد.

۲- با انجام اقدامات مناسب در نگهداری موتور می توان تلفات مکانیکی را بسادگی در مقدار حداقل خود نگه داشت.

۳- انواع تلفات موتور بدون توجه به نوع آن منجر به ایجاد حرارت می شود بدین ترتیب خنک کاری موتور بویژه در شرائطی که موتور زیر بار است از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بالا رفتن درجه حرارت موتور باعث کاهش عمر مفید آن می‌شود.

۴- سیم پیچی موتورهای معیوب توسط افراد متخصص انجام شود. مشاهدات نشان می دهد که در برخی از موارد موتور بدفعات مورد سیم پیچی قرار می گیرد. عدم رعایت نکات فنی در عایق بندی موتور سیم پیچی شده و همچنین استفاده از ابزار و آلات غیر اصولی در درآوردن سیم پیچی سوخته شده موتور نتایج بدی بدنبال دارد.

بعنوان یک اصل تجربی موتورهایی که به این شیوه سیم پیچی مجدد می شوند برای کار با اینورتر یا کنترل کننده دور موتور مناسب نیستند. اغلب این موتورها بدلیل آسیب هائی که به مدار مغناطیسی آنها در حین سیم پیچی وارد می شود از جریان بی باری بالاتر از حد معمول برخوردار بوده و عایق

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

جمله موارد زیر بازدهی این موتورها را مورد بررسی قرار داد:

- میزان بار (درصد از بار کامل)
- میزان تغییرات بار (درصد از بار کامل)
- میزان تغییرات سرعت (درصد از سرعت سنکرون)
- میزان تغییرات ولتاژ شبکه (درصد از ولتاژ نامی)

از آنجائیکه در نیروگاه تعداد موتور مورد استفاده زیاد می باشد، توصیه میگردد نسبت به جمع آوری اطلاعات فوق و اقدامات اصلاحی اقدام نماییم.

۲- اقدامات مربوط به بهره برداری از موتورها:

یکی از روشهای راه اندازی موتورهای القایی راه اندازهای نرم می باشد که از طریق آنها موتورها از طریق کنترل ولتاژ-فرکانس در یک زمان مشخص بتدریج از سرعت صفر به سرعت نامی می رسند که این روش امروزه کاملاً جا افتاده است. راه اندازهای نرم تنها در هنگام راه اندازی بکار می روند و معمولاً پس از راه اندازی توسط یک کنتاکتور بای پس از مدار خارج می گردند. این راه اندازها می توانند به سیستم از کار اندازی نرم نیز مجهز باشند که کاربرد های ویژه ای دارد. ضمن این که عموماً این نوع راه اندازها به ترمز الکترونیکی از طریق تزریق جریان مستقیم نیز مجهز می باشند.

سازندگان این نوع راه اندازها معمولاً حفاظت های مورد نیاز برای موتور را نیز در راه اندازها تعبیه می کنند که از این طریق حجم راه انداز محدود می گردد. ضمن این که با استفاده از این گونه راه اندازها نیاز به در نظر گرفتن کنتاکتور اصلی نیست. حفاظت هایی که معمولاً در راه اندازهای نرم پیش بینی می گردد بشرح زیر است:

- حفاظت در مقابل اضافه بار

- حفاظت در مقابل توالی معکوس فازها و دو فاز شدن

بندی آنها برای کار با اینورتر مناسب نمی باشد. این نوع موتورها حرارت بیشتری نسبت به موتورهای سالم دارند و تلفات زیادی ایجاد می کنند. ضمناً این موتورها بمراتب آسیب پذیرتر از موتورهای فابریک می باشند.

۵- اگر قصد تعویض موتورها را دارید و یا میخواهید موتورهای جدیدی تهیه کنید، موتورهای تهیه کنید که راندمان بالاتری داشته و توان آنها بالاتر از نیاز پمپ نباشد.

۶- استفاده از پمپهای با راندمان بالا استفاده کنید. همانطور که گفته شد افزایش راندمان پمپ و موتور باعث کاهش مصرف انرژی میگردد. فرمول زیر این مسئله را به خوبی نشان میدهد.

$$P = \frac{(Q \times H)}{367 \times \mu_m \times \mu_p} \quad (3)$$

Q: دبی پمپ، H: هد پمپ، μ_m : راندمان موتور
 μ_p : راندمان پمپ

با توجه به فرمول 3 اگر راندمان پمپ و موتور 10% افزایش یابد مصرف موتور به همان اندازه کاهش می یابد. به عنوان مثال اگر مصرف موتور 300KW باشد با افزایش راندمان داریم:

$$P1 = 300 \text{ KW}$$

$$P2 = P1 / 1.21 = 300 / 1.21 = 247.93 \text{ KW}$$

$$P2 - P1 = 52 \text{ KW}$$

اگر قیمت هر kWh مصرف انرژی را 800 ریال در نظر بگیریم، میزان صرفه جوئی در یک شبانه روز برابر است با:

$$52 * 24 * 800 = 998,400 \text{ ریال}$$

همان طور که مشاهده می شود مجموعه اقدامات ساده فوق خصوصاً اقداماتی که به عوامل وابسته به شرایط نگهداری موتور می شود می تواند منجر به صرفه جوئی اقتصادی قابل توجهی شود.

برای اطمینان یافتن از اینکه بازدهی موتورهای مستقر در صنایع و سایر کاربردها در حد مطلوب قرار دارد می توان نسبت به تدوین شناسنامه صنعتی برای هر موتور (و بویژه موتورهای بزرگ) اقدام نموده و با ثبت اطلاعات مورد نظر از

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

- ۲- تغییر دهنده جهت دور به راحتی و بدون نیاز به کنتاکتور
 - ۳- روشن و خاموش نمودن موتور بدون نیاز به قطع و وصل برق اصلی
 - ۴- کاهش ضربه های مکانیکی و در نتیجه افزایش طول عمر مفید قسمت مکانیکی
 - ۵- حفاظت موتور در مقابل افزایش ولتاژ و جلوگیری از آسیب دیدن موتور
 - ۶- راه اندازی نرم موتور بدون هیچگونه ضربه به قسمت‌های مکانیکی مثل کوپلینگها ، گیر بکسها ، تسمه ها ، زنجیرها و ... و در نتیجه افزایش طول عمر مفید موتور و سایر قسمت‌های مکانیکی را به دنبال خواهد داشت .
 - ۷- حفاظت موتور در برابر اضافه بار .
 - ۸- جلوگیری از گرم کردن و در نهایت سوختن موتور در کاربرد هایی که موتور به طور مداوم چپگرد و راستگرد و یا خاموش می شود .
 - ۹- کاهش هزینه برق مصرفی
 - ۱۰- کاهش جریان راه اندازی
 - ۱۱- امکان ایجاد فشار ثابت در پمپها
- در مرجع [۴] درایوهای سرعت متغیر برای موتورهای القایی بصورت تکفاز بررسی شده است.
- اکنون به بررسی برخی از موارد ذکر شده در بالا می پردازیم.

کاهش هزینه برق مصرفی:

به دلیل آنکه موتور به عنوان یک بار با ماهیت راکتیو روی شبکه قرار دارد، چنانچه از درایو برای راه اندازی و کنترل موتور استفاده گردد چون درایو دارای یک بانک خازنی می باشد این بار راکتیو را جبران می نماید و تنها بار اکتیو را از شبکه برق مصرف می نماید ، بنابراین جریان مصرفی بسیار کاهش می یابد

همچنین چون در بسیاری از کاربردها انرژی زیادی برای راه اندازی لازم است موتور انتخاب شده را با توان بالاتری انتخاب می کنند بنابراین میزان جریان زیادتری هم در حین کار از شبکه استفاده می کند .

- حفاظت در مقابل افزایش حرارت سیم پیچ های موتور که از طریق سنسورهای حرارتی انجام می گردد.

- حفاظت در مقابل کاهش ولتاژ

و موارد دیگر که بسته به سازنده راه انداز می تواند تغییر کند.

نکته مهم اینجاست که هنگام بسته شدن کنتاکتور بای پس حفاظت های تعبیه شده در راه انداز همچنان فعال می باشد چون مسیر بای پس تنها تایرستورها را بای پس می کند. جهت بستن کنتاکتور بای پس بعد از راه اندازی موتور عموماً از یک کنتاکت راه انداز استفاده می گردد که بعد از رمپ راه اندازی به صورت خودکار فعال می گردد. لازم به ذکر است که برخی از راه اندازهای نرم دارای سیستم بای پس داخلی هستند که دیگر نیاز به در نظر گرفتن کنتاکتور بای پس نیست. با توجه به این که تایرستورهای بکار رفته در راه اندازهای نرم حرارت تولید می کنند اینطور استنباط می گردد که در تابلوهای دارای راه اندازهای نرم لازم است از فن استفاده گردد. ولی با توجه به کار راه انداز تنها در مرحله استارت ، حرارت تولید شده تنها به مرحله راه اندازی محدود می گردد و بنابر این در راه اندازهای دارای سیستم بای پس تنها تعبیه شکاف های عبور هوا متناسب با درجه حفاظتی تابلو توصیه می گردد. ضمن این که این گونه راه اندازها عموماً مجهز به هیت سینک و فن هستند. اکثر راه اندازهای نرم مجهز به پورت های اطلاعاتی مانند مودباس- پروفی باس و ... جهت تبادل اطلاعات می باشند که از این طریق می توان از کلیه اطلاعات داخل راه انداز مطلع گردید به این طریق کنترل این راه انداز ها توسط سیستم هایی مانند DCS بسیار ساده می باشد.

۴- مزایای استفاده از درایوراه انداز

همانطور که گفته شد درایو راه انداز دستگاهی الکترونیکی است که بوسیله آن می توان سرعت موتورهای سه فاز را تغییر داد . از دیگر کاربردها و مزایای آن می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- تنظیم کننده سرعت موتور (کنترل دور)

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

می‌رسد. زمانیکه پمپ به صورت مستقیم start & stop میشود می‌تواند رزونانس با دامنه میراثونده در طول خط لوله ایجاد نماید و باعث کاهش عمر سیستم گردد.

۳- نیازهای عملیاتی پمپ:

پمپها به دلیل نیاز عملیاتی متغیر بودن فلو و یا فشار، در شرایط کاری مختلف به صورت over size طراحی میشوند و این مسئله باعث کارکرد آنها در نقاط کاری با راندمان پائین می‌باشد و از آنجائیکه هزینه‌های مربوط به دوره طول عمر پمپ‌ها شامل تعمیرات و نگهداری حدود ۲ تا ۵٪ و هزینه‌های مربوط به مصرف انرژی ۹۰٪ میباشد اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی مشهود است.

۴- استفاده از درایو نرم در واحد الین:

۴-۱: صرفه‌جویی بدون در نظر گرفتن پروفیل بار:

با توجه به مشخصات پمپ‌های واحد الین که در جدول ۱ آمده است و قوانین افینیتی پمپ، در صورتیکه ۱۰ درصد کاهش در سرعت داشته باشیم توان مصرفی پمپ از ۳۰۰ کیلو وات به ۲۱۸/۷ کاهش می‌یابد. حال اگر قیمت هر کیلو وات ساعت برق مصرفی 800 ریال باشد آنگاه میزان صرفه‌جویی ریالی در یک سال برابر با ۵۶۱۹۴۵۶۰۰ ریال می‌باشد. با توجه به این میزان صرفه‌جویی مدت زمان برگشت سرمایه تقریباً ۶ ماه می‌باشد.

$$(4) \text{ (میزان صرفه جویی در سال / قیمت تمام شده درایو) } = T(\text{year})$$

۴-۲: صرفه‌جویی با در نظر گرفتن پروفیل بار و روابط

توان سوم:

اگر پمپ یا فن در مقادیری کمتر از مقدار نامی کار کند، استفاده از درایوها باعث صرفه‌جویی انرژی می‌باشد. ولی فاکتور تعیین‌کننده در کاربرد سیستم دور متغیر برای صرفه‌جویی انرژی، پروفیل بار می‌باشد که نشان می‌دهد در یک پریود سالانه چه مدت زمانی را و به چه مقدار، پمپ یا فن در

چنانچه از اینورتر استفاده شود، اینورتر به صورت کاملاً اتوماتیک این جریان را در حین راه‌اندازی به مقدار لازم افزایش و در حین کار به مقدار لازم کاهش می‌دهد، بنابراین به طور کلی هزینه برق مصرفی کاهش چشم‌گیری خواهد داشت.

کاهش جریان راه‌اندازی:

در بسیاری از کاربردها به هنگام راه‌اندازی، موتور جریان بسیار بالایی از شبکه می‌کشد و موجب کاهش ولتاژ شبکه و ایجاد صدماتی به تاسیسات برق رسانی و سایر دستگاهها می‌گردد. این جریان به ۶ برابر جریان نامی موتور می‌رسد که بسیار نامطلوب می‌باشد.

چنانچه از اینورتر استفاده شود این اضافه‌جریان بسیار اندک خواهد شد (حداکثر ۱.۲ برابر) به عنوان مثال اگر یک موتور با جریان نامی ۱۰ آمپر کار کند در هنگام راه‌اندازی این جریان به ۶۰ آمپر می‌رسد و در صورت استفاده از اینورتر این جریان حداکثر به ۱۲ آمپر می‌رسد.

کاهش جریان موتور به صورت اتوماتیک در هنگامی که بار موتور کم می‌شود. این قابلیت به غیر از کاهش هزینه برق مصرفی موجب افزایش طول عمر مفید موتور خواهد شد.

همچنین امکان استفاده از برق تک‌فاز ۲۲۰ ولت به جای سه فاز ۳۸۰ ولت برای راه‌اندازی موتور سه فاز حداکثر با توان 3hp (2.2kw) وجود دارد. به این معنا که می‌توان با برق خانگی یک موتور سه فاز را کاملاً به صورت عادی راه‌اندازی کرد.

امکان ایجاد فشار ثابت در کاربرد پمپها:

به این ترتیب که با تغییر دور موتور فشار مورد نظر را ثابت نگه میدارد (به عنوان مثال فشار آب یک مخزن) بنابراین در هنگام مصرف آب، دور موتور به صورت خودکار زیاد می‌شود و در هنگامی که آب مصرف نمی‌گردد دور موتور به صورت خودکار کاهش می‌یابد. بنابراین دور موتور با مقدار مصرف تغییر می‌نماید بنابراین آب با فشار ثابت به تمام نقاط

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

۴-۳: صرفه‌جویی با در نظر گرفتن پروفیل بار و روابط

توان دوم:

برای آنکه محاسبات با دقت بیشتری همراه باشد محاسبات را با استفاده از رابطه زیر که توان دوم می‌باشد نیز انجام داده‌ایم.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{q_1}{q_2}\right)^2 \quad \text{محاسبات با توان ۲}$$

با استفاده از روابط توان دوم مدت زمان برگشت سرمایه ۲/۲ سال بدست می‌آید.

۷- نتیجه‌گیری:

با گسترش روزافزون مصرف انرژی الکتریکی و افزایش هزینه‌های تولید، نیاز به صرفه‌جویی در مصرف، بیش از پیش احساس می‌شود. نیروگاهها به عنوان پیشگامان تولید، میتوانند با بهینه‌سازی سیستمهای موجود و یا اصلاح آنها سهم بسزایی در این کار داشته باشند. به همین منظور جهت افزایش بهره‌وری واحد الین نیروگاه مشهد و با توجه به عدم استفاده از سیستم درایو نرم در پمپهای واحد الین، با توجه به آنالیز اقتصادی و با در نظر گرفتن شرایط و روابط مختلف در بدترین حالت و در شرایط واقعی حداکثر ظرف ۲/۲ سال سرمایه‌گذاری جهت خرید سیستم درایو برگشت خواهد شد. لذا به نظر می‌رسد با توجه مزایای متعدد این درایورها، بهتر است نسبت به بهینه‌سازی سیستم کنترل پمپها اقدام گردد.

مراجع

- [۱] B.C.Kim, D.H.Lee et all, "Performance of SR Drive for Hydraulic Pump" Electrical Machines and Systems, 2005. ICEMS 2005. Proceedings of the Eighth International Conference on Vol. 1, 27-29 Sept. 2005 Page(s):659 – 663.
- [۲] S.A.Mircevski, Z.A. Kostic et all, "Energy Saving With Pump's AC Adjustable Speed Drives" Electrotechnical Conference, 1998. MELECON 98. , 9th Mediterranean Vol 2, 18- 20 May 1998 Page(s): 1224 – 1227.

مقادیر دبی کمتر از دبی نامی کار کرده است. در بررسی مقادیر ثبت شده مربوط به پمپ در طول یک هفته بیشترین دبی پمپ 46 t/h بوده که ما محاسباتمان را بر اساس این دبی انجام داده‌ایم. ضمناً توان موتور 270kw در نظر گرفته شده است.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{q_1}{q_2}\right)^3 \quad \text{استفاده}$$

نموده ایم و به بررسی پروفیل بار در مدت دو روز پرداخته (جدول ۱ و ۲) و شرایط آن را به کل سال تعمیم داده‌ایم. در صورتیکه از درایو نرم استفاده نگردد و پمپ با یک دبی ثابت کار نماید (46 t/h) میزان مصرف انرژی در ۴۸ ساعت برابر با 12960 کیلو وات ساعت خواهد بود. در غیر اینصورت با توجه به رابطه زیر و پروفیل بار در جدول ۱ و ۲ میزان مصرف انرژی در ۴۸ ساعت برابر با 11728.65 کیلو وات ساعت خواهد بود.

انجام محاسبات با توان ۳

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{q_1}{q_2}\right)^3$$

$$205.05 \text{ kwh} = 270 \times 1 \times (46/42)^3 \quad \text{میزان مصرف انرژی با دبی [42]}$$

$$882.17 \text{ kw} = 270 \times 4 \times (46/43)^3 \quad \text{میزان مصرف انرژی با دبی [43]}$$

$$4253.24 \text{ kw} = 270 \times 18 \times (46/44)^3 \quad \text{میزان مصرف انرژی با دبی [44]}$$

$$5308.19 \text{ kw} = 270 \times 21 \times (46/45)^3 \quad \text{میزان مصرف انرژی با دبی [45]}$$

$$1080 \text{ kwh} = 270 \times 4 \times (46/46)^3 \quad \text{میزان مصرف انرژی با دبی [46]}$$

میزان مصرف انرژی در 48 ساعت فوق (با دبی های متفاوت) را داریم:

$$1080 + 5308.19 + 4253.24 + 882.17 + 205.05 = 11728.65$$

میزان صرفه‌جویی انرژی در مدت یک شبانه روز برابر است با:

$$(12960 - 11728.65) / 2 = 615.675 \text{ kwh}$$

و میزان صرفه‌جویی انرژی در مدت یک سال برابر با 177,314,400 ریال می‌باشد که با این مقدار برگشت سرمایه ۱/۵ سال خواهد بود.

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

- [۳] B.J.Szymanski, K.Kompa et all, "Power Electronic Converter for the Reluctance Pump Drive" Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC 2008. 13th 1-3 Sept. 2008 Page(s):695 – 698
- [۴] F. Blaabjerg, F. Lungeanu et all, "Comparison of Variable Speed Drives for Single-phase Induction Motors", Power Conversion Conference, PCC Osaka 2002. Vol 3, 2-5 April 2002 Page(s):1328 – 1333.
- [۵] A.H.Bonnett, "Understanding the Changing Requirements and Opportunities for Improvement of Operating Efficiency of ac Motors" Industry Applications, IEEE Transactions on Vol. 29, Issue 3, May-June Page(s):600 - 610