

وزارت نیرو

سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)

راهنمای کاهش هزینه‌های مصرف انرژی در

موتورهای الکتریکی و سیستم‌های محرک

تهیه و تدوین:

سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)

راهنمای کاهش هزینه‌های مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی و سیستم‌های محرکه .
تهیه و تدوین، سازمان بهره‌وری انرژی ایران ؛ ویراستاران
اصغر حاج‌سقطی ، محمدعلی رحیم‌خانی - تهران : وزارت نیرو، معاونت امور انرژی + نشر
صدوق ۱۳۷۸
ی ۱۳۴ ص: مصوّر ، جدول، نمودار I.S.B.N 964-6553-05-2
۱. موتورهای برقی - مصرف انرژی - کنترل هزینه.
۲. محرک‌های برقی - مصرف انرژی - کنترل هزینه .
الف : سازمان بهره‌وری انرژی ایران . ب : ایران - وزارت نیرو . معاونت امور انرژی ج :
آزمایشگاه هارول . واحد حمایت تکنولوژی انرژی
Harwell Laboratory. Energy Technology Support Unit [H. L.E. T. S. U]
ت ۲ / ۴۹۲ TP ۶۲۱/۵۶ ۳۳۱۷ - ۷۸ م

این کتاب ترجمه‌ای است از مجموعه کتاب‌های " راهنمای فنی بهره‌وری انرژی " (Good Practice Guide 2) که توسط " ETSU " انگلستان چاپ و منتشر شده است.

راهنمای کاهش هزینه‌های مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی و سیستم‌های محرکه

تهیه و تدوین : سازمان بهره‌وری انرژی ایران

ناشر : وزارت نیرو - سازمان بهره‌وری انرژی ایران

ویرایش و بازنگری مجدد : علیرضا محمدیه

حروفچینی : نسرين سلیمانی

خدمات فنی : نشر پارسیان سبز

نوبت چاپ : دوم - تابستان ۸۳

لیتوگرافی و چاپ : چاپ فرشویه

تیراژ : ۵۰۰۰ نسخه

شابک: I. S. B. N. 964-6553-05-2 / ۹۶۴-۶۵۵۳-۰۵-۲

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- مقدمه
۵	بخش اول : مقدمه‌ای بر موتورهای الکتریکی و سیستم‌های محرکه
۵	۲- الکتریسیته
۵	۲-۱- مشخصه‌ها
۷	۲-۲- تعرفه‌ها
۸	۳- موتورهای الکتریکی
۸	۳-۱- انواع
۹	۳-۲- اجزاء اصلی
۱۱	۳-۳- تلفات
۱۳	۳-۴- کنترل
۱۴	۳-۵- کاربرد
۱۴	۳-۶- تعمیر و نگهداری
۱۵	۳-۷- سیم‌پیچی
۱۵	۴- سیستم‌های محرکه
۱۷	۵- فرصت‌های صرفه‌جویی

بخش دوم : امکانات فنی، اجرای کار و صرفه‌جویی در هزینه

.....

۱۹

۶- اندازه‌گیری‌های محلی..... ۱۹

۶-۱- ایمنی..... ۲۰

۶-۲- کسب اطلاعات..... ۲۰

۶-۳- کمک گرفتن..... ۲۲

۶-۴- مواردی که بار یا سرعت تغییر می‌کند..... ۲۳

۶-۵- برآورد هزینه بهره‌برداری در شرایط فعلی..... ۲۴

۶-۶- ذخیره کردن اطلاعات..... ۲۶

۷- امکانات صرفه‌جویی کم‌هزینه..... ۲۷

۷-۱- عملکرد توقف / شروع..... ۲۷

۷-۲- اتصال ستاره مثلث..... ۲۸

۷-۳- نمودار درختی تصمیم‌گیری..... ۳۲

۸- فن‌آوری..... ۳۳

۸-۱- موتورهای با راندمان بالا..... ۳۳

۸-۲- کنترل‌کننده‌های موتور..... ۳۹

۸-۳- سیستم‌های با سرعت متغیر..... ۴۵

۸-۳-۱- محرکه‌های دور متغیر الکترونیکی (VSD ها)..... ۴۶

۸-۳-۲- موتورهای دور متغیر..... ۵۲

۸-۳-۳- محرکه‌های الکترومکانیکی..... ۵۵

۸-۳-۴- راندمان محرکه..... ۵۶

۸-۳-۵- خلاصه VSD ها..... ۵۸

۹- موارد کاربرد..... ۶۰

۶۰	۱-۹- بادبزن‌ها (فن‌ها)
۶۹	۲-۹- پمپ‌ها
۷۹	۳-۹- کمپرسورها
۹۲	۴-۹- کاربردهای متنوع دیگر
۹۳	۱۰- مطالعات موردی

بخش	سوم	:	اطلاعات	جانبی
۱۰۵				
۱۱-	آنچه	می‌بایست	انجام	داد
۱۰۵				
۱-۱۱-		منابع		کمکی
۱۰۵				
۲-۱۱-	اطلاعات	مورد	نیاز	تهیه کننده
۱۰۷				
۱۲-		فهرست		منابع
۱۱۰				

نامہ	کتاب	-۱۳
.....		۱۱۱
پیوست‌ها		-۱۴
.....		۱۱۵

فهرست ضمایم

عنوان	صفحه
ضمیمه شماره ۱ : واژنامه	۱۱۵
ضمیمه شماره ۲ : تهیه‌کنندگان تجهیزات کنترل	۱۲۰
ضمیمه شماره ۳ : روش‌های تحلیل اقتصادی	۱۲۴
ضمیمه شماره ۴ : هزینه‌های سرمایه در کنترل‌کننده‌های موتور و محرکه‌های معکوس‌کننده	۱۳۱
ضمیمه شماره ۵ : تولیدکنندگان و تهیه‌کنندگان موتور و محرکه	۱۳۴

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱- رابطه kVA ، kw و $kVAr$	۶
شکل ۲- اجزاء یک موتور الکتریکی.....	۱۰
شکل ۳- افت توان در موتورهای الکتریکی.....	۱۲
شکل ۴- اتصالات مثلث و ستاره موتور.....	۱۳
شکل ۵- طرز اتصال تحلیل‌گر انرژی.....	۲۱
شکل ۶- دوره تناوب عمل نمونه‌ای پمپ سانتیفوژ.....	۲۴
شکل ۷- اتصالات ستاره / مثلث.....	۲۹
شکل ۸- اثر اتصال مجدد از مثلث به ستاره در یک موتور استاندارد ۷/۵ کیلوواتی بر تلفات.....	۳۰
شکل ۹- تأثیر اتصال مجدد از مثلث به ستاره بر قدرت غیر مؤثر موتور استاندارد ۷/۵ کیلوواتی.....	۳۱
شکل ۱۰- نمودار درختی: امکانات انتخاب در کنترل اصلی.....	۳۲
شکل ۱۱- مقایسه راندمان بار کامل موتورهای (۴ قطبی) استاندارد و موتورهای ۴ قطبی با راندمان بالا.....	۳۴
شکل ۱۲- مقایسه ضریب راندمان و قدرت در موتورهای استاندارد و موتورهای دارای راندمان انرژی بالا با ۷/۵ کیلووات مصرف انرژی.....	۳۵
شکل ۱۳- میزان صرفه‌جویی در انرژی ناشی از کاربرد موتورهای آزمایش شده با راندمان بالا.....	۳۶

- شکل ۱۴- مصرف قدرت راکتیو در موتورهای استاندارد و موتورهای با راندمان انرژی بالا ۳۷
- شکل ۱۵- مقایسه عملکرد موتور استاندارد ۷/۵ کیلوواتی با و بدون کنترل کننده ۴۰
- شکل ۱۶- مصرف برق قدرت راکتیو موتور استاندارد ۷/۵ کیلوواتی که کارائی مشابه با سه کنترل کننده را نشان می دهد..... ۴۱
- شکل ۱۷- میزان صرفه جویی در انرژی ناشی از کاربرد کنترل کننده های موتور در موتورهای استاندارد ۷/۵، ۳ و ۲۲ کیلووات..... ۴۲
- شکل ۱۸- نمودار درختی تصمیم گیری برای روند انتخاب در مورد موتورهای با دور ثابت ۴۴
- شکل ۱۹- موارد انتخاب دور متغیر..... ۴۵
- شکل ۲۰- فشار تخلیه پمپ کنترل کننده VSD ۴۷
- شکل ۲۱- نمونه مشخصه یک بادبزن (فن) که نقطه عملکرد را نشان می دهد ۶۲
- شکل ۲۲- مقایسه میزان نیاز فن به برق باروش های مختلف کنترل..... ۶۳
- شکل ۲۳- مشخصات دوره تناوب عمل / فن که برای کنترل کننده موتور مناسب است ۶۵
- شکل ۲۴- صرفه جویی انرژی ناشی از انواع مختلف کنترل فن ۶۶
- شکل ۲۵- بهای نسبی محرکهای با دور متغیر به عنوان تابعی از توان محرک (داده های سال (۱۹۸۶)..... ۶۷
- شکل ۲۶- موارد انتخاب کنترل فن - خلاصه طبقه بندی ۶۸
- شکل ۲۷- نمودارهای هد / جریان و بازده برای یک نمونه پمپ سانتریفوژ تحت شرایط سرعت ثابت..... ۶۹
- شکل ۲۸- نمونه مشخصات عملکرد پمپ سانتریفوژ در سرعت متغیر ۷۰
- شکل ۲۹- تغییر جریان با کاهش سرعت ۷۱

- شکل ۳۰- نیاز توان بر حسب تابعی از جریان برای روش‌های مختلف کنترل پمپ،
 وارونگر ۵۰٪ V/F ۷۲
- شکل ۳۱-۳۲- مصرف توان در پمپ با سرعت ثابت ۷۳
- شکل ۳۳- هزینه‌های اضافی راه‌اندازی در اثر تلفات محرک ۷۶
- شکل ۳۴- گزینه‌های مربوط به عملکرد کارآمد پمپ از نظر انرژی ۷۷
- شکل ۳۵- میزان صرفه‌جویی هزینه در یک راننده پمپ با سرعت متغیر در توان
 اسمی ۱۰۰ کیلووات ۷۸
- شکل ۳۶- روش‌های مختلف کنترل کمپرسور که نمایانگر عملکرد ضعیف کنترل
 مجرای کناری است ۸۲
- شکل ۳۷- مصرف توان کمپرسورها در بار جزء ۸۲
- شکل ۳۸- پره‌های راهنمای ورودی برای تغییر جریان در کمپرسور سانتریفوژ ۸۴
- شکل ۳۹- مقایسه ترکیب‌های کنترل کمپرسور برای یک پروفیل بار معین ۸۵
- شکل ۴۰- اثر بازده کم موتور بر عملکرد یک کمپرسور درزبندی شده در دماهای
 تبخیر مختلف ۸۶
- شکل ۴۱- مقادیر خالص صرفه‌جویی توان با استفاده از کنترل‌کننده موتور ۸۸
- شکل ۴۲- مقایسه مصرف الکتریسته: سیستم CVC مارگوس در برابر تبرید با
 کنترل قدیمی ۹۰
- شکل ۴۳- نمای شماتیک کوره‌های پالایش که VSD ها (راننده‌های سرعت متغیر)
 را نشان می‌دهد ۹۷
- شکل ۴۴- مدت زمان جبران هزینه به عنوان تابعی از سرمایه خالص، مقدر
 صرفه‌جویی در انرژی و نرخ بهره ۱۲۶
- شکل ۴۵- هزینه سرمایه تجهیزات: کنترل‌کننده‌های موتور ۱۳۲
- شکل ۴۶- هزینه سرمایه تجهیزات: معکوس‌کننده‌ها (VSD ها) ۱۳۳

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱- صرفه‌جویی‌های موتور ۷/۵ کیلوواتی با بازده بالا بعنوان تابعی از کاربرد	۳۸
جدول ۲- نتایج دوره‌ای بار که نشان‌دهنده میزان صرفه‌جویی Kwh و KVAr هنگام استفاده از کنترل‌کننده موتور در موتورهای استاندارد است	۴۳
جدول ۳- کارآئی سیستم‌های گوناگون برای سرعت‌ها و اندازه‌های مختلف موتور	۵۷
جدول ۴ - مقایسه محرکهای دور متغیر	۵۸
جدول ۵ - مثال‌هایی از تعبیه موفق کنترل‌کننده‌های موتور	۸۷

جدول ۶ - روش‌های کنترل کمپرسور

پیشگفتار

افزایش روزافزون مصرف انرژی در تمام شئون زندگی و محدودیت منابع انرژی از یکسو و مصرف بی رویه آن توسط جوامع مختلف از سوی دیگر، علاوه بر آلودگی محیط زیست و هدر دادن سرمایه‌های ملی، زندگی آینده بشر را با مخاطره مواجه ساخته است.

تجربه ایران و جهان در دهه‌های گذشته نشان می‌دهد که رشد اقتصادی و توسعه صنعتی به عنوان پیش شرط‌های اقتدار سیاسی، استقلال ملی و شکوفایی فرهنگی، به عوامل مختلف از جمله انرژی و بهره‌وری مطلوب و بهینه از منابع آن نیازمند است.

اگر چه ایران از غنی‌ترین منابع انرژی برخوردار است اما تلف کردن و استفاده نادرست از آن خسارات جبران ناپذیری را بر بودجه سالانه کشور تحمیل می‌کند. از این رو استفاده منطقی از انرژی و برنامه‌ریزی در این زمینه از اولویت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

با آگاهی نسبت به اهمیت این امر بود که دولت جمهوری اسلامی ایران با تصویب بند (و) تبصره (۱۹) قانون برنامه دوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، حرکت در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و گسترش مصرف منطقی منابع انرژی را به صورت وظیفه‌ای برای مسئولان درآورد و در راستای همین قانون و قوانین دیگری در برنامه سوم توسعه آئین‌نامه‌های اجرائی به تصویب رسید که از آن جمله، آئین‌نامه

اجرایی بند الف تبصره ۲۷، طراحی دوره‌های آموزشی مدیران و کارشناسان واحدهای مدیریت انرژی برای صنایع و مؤسسات، تشکیل واحد مدیریت انرژی در صنایع با توان مصرفی بالا، برگزاری سمینارهای آگاهسازی، تهیه کتاب‌ها و بروشورهای فنی جهت گسترش فرهنگ صحیح مصرف انرژی را، می‌توان نام برد. در همین راستا، معاونت امور انرژی وزارت نیرو در سال ۱۳۷۵ نسبت به ترجمه و چاپ (راهنمای فنی مدیریت انرژی) در ۲۱ جلد اقدام کرد و اینک سری جدیدی تحت عنوان (راهنمای فنی بهره‌وری انرژی) انتشار می‌یابد که از سوی ETSU در کشور انگلستان با نام **Best Practice Programme (Energy Efficiency)** چاپ شده است.

این کتاب از سری راهنمای فنی بهره‌وری انرژی ۵۶ جلدی انتخاب گردیده که با توجه به استقبال مخاطبین، چاپ دوم این کتاب با ویراستاری و بازنگری مجدد متن صورت گرفته است. امید است به لحاظ اهمیت موضوع، بقیه مجلدات آن به ترتیب چاپ و در اختیار علاقمندان قرار گیرد.

سازمان بهره‌وری انرژی ایران
(سابا)

۱- مقدمه

میزان مصرف برق موتورهای الکتریکی و سیستم‌های محرکه ۶۴٪ از مصرف برق صنایع را تشکیل می‌دهد. بخش عمده‌ای از این موارد شامل راه‌اندازی فن‌ها و پمپ‌ها و کمپرسورها می‌باشد. با قیمت‌های کنونی، هزینه برق مصرفی در سال بالغ بر ۲۰۰۰ پوند می‌شود. هزینه دیگر ۱۰۰۰ میلیون پوندی نیز در موارد کاربرد تجارتي و عمدتاً به واسطه تجهیزات تبرید و تهویه هوا و تهویه مطبوع مصرف می‌شود. یک برآورد نشان می‌دهد که تعداد موتورهای صنعتی در کشور انگلستان متجاوز از ۱۰ میلیون واحد می‌باشد. علاوه بر آن در هر روز کاری ۳۰۰۰ موتور جدید که عمدتاً موتورهای القائی (استاندارد) جریان متناوب زیر ۱۵۰ کیلووات می‌باشند خریداری می‌شود.

با اتلاف برقی که تخمین زده می‌شود بین ۴۰٪ تا ۸۰٪ از میزان بار کامل موتور باشد، سطح مصرف در نمونه‌های کاربردی تقریباً ۵۰٪ است. آخرین پیشرفت‌های فن‌آوری در زمینه کاربرد ریز کامپیوترها امکانات مالی بسیار خوبی در رابطه با سرمایه‌گذاری در سیستم‌های محرکه و موتور با راندمان بالاتر^۱، برای کاهش این اتلاف پیش آورده است. این سیستم‌ها

حد اتلاف انرژی در موتورهای جریان متناوب استاندارد را کاهش می‌دهد و امکان کنترل مطلوب‌تر موتور را فراهم می‌کند.

امروزه فن‌آوری‌ها و روش‌هایی پیدا شده است که تخمین زده می‌شود که بتوان هزینه سرمایه‌گذاری‌های کارآمد بوسیله صنایع و تجارت را سالانه متجاوز از ۳۰۰ میلیون پوند صرفه‌جویی کرد یعنی به عبارتی این میزان صرفه‌جویی ۱۰٪ از کل صنایع این بخش‌ها می‌باشد. متأسفانه علیرغم توصیه مکرر منابع مختلف خصوصی و مشاورین و عرضه‌کنندگان تجهیزات، بسیاری از امکانات اساسی صرفه‌جویی از دست می‌رود.

دلایل این امر عبارتند از:

- فقدان آگاهی و یا مردّد بودن درباره آخرین فن‌آوری‌ها
 - غالباً به منافع اجرایی و مالی کلی به طور کامل ارج نمی‌نهند
 - پروژه‌های صرفه‌جویی انرژی نسبت به سایر مخارج مربوطه تولید در مقام بعدی می‌باشند.
 - کمترین قیمت تمام شده اولیه بر هزینه چرخه عمر مقدم شمرده می‌شود
-

(یعنی هزینه ابتدائی بعلاوه هزینه‌های کارکرد و نگهداری).
هدف از نگارش این راهنمای بهره‌وری انرژی عبارتست از توجه دادن مصرف‌کنندگان بالقوه به امکانات دستیابی به صرفه‌جویی‌های اساسی موثر در هزینه جهت موتورها و محرک‌های حداکثر تا توان ۱۵۰ کیلووات.
قسمت اول این راهنما مقدمه‌ای درباره موتورهای الکتریکی و محرک‌ها و همچنین عمل متقابل چنین سیستم‌هایی را با شبکه تامین برق توضیح می‌دهد و توصیه می‌کند که در کجا بایستی امکانات صرفه‌جویی انرژی را جستجو کرد.
البته خوانندگانی که با اصول کار موتورها و محرک‌ها آشنائی دارند نیاز به مطالعه قسمت اول ندارند.

قسمت دوم به روش‌هایی می‌پردازد که توسط آنها می‌توان چنین امکاناتی را شناسائی کرده و مورد بهره‌برداری قرار داد. همچنین نمونه موارد کاربرد، مطالعات موردی و مثال‌های تحلیل هزینه / سود نیز ارائه شده است.
نتایج آزمون‌ها، در موارد انتخاب شده‌ای از موتورهای با راندمان بالا و کنترل‌کننده‌های موتور با موتورهای استاندارد ارائه می‌شود. این موارد فقط نسبت
به

موتورهای استاندارد مقایسه می‌شوند و سطوح کارائی و مصرف انرژی و صرفه‌جویی‌ها را نشان می‌دهند.

قسمت سوم حاوی اطلاعات مفید و فهرست نام عرضه‌کنندگان و مشخصات کتابهای دیگر در همین زمینه است.

این راهنما شامل تعدادی از نگاره‌های کارائی می‌باشد. این نگاره‌ها به طور کلی جهت روشن شدن مطالب آمده‌اند و نبایستی در موقعیت مخصوصی از مقیاس آنها استفاده کرد.

در سرتاسر این راهنمای فنی منافع مالی مورد تأکید واقع شده که از بکار بستن فن‌آوری‌های صرفه‌جویی انرژی و اصلاح کارائی حاصل می‌شوند. مدیران انرژی بایستی در این راهنما اطلاعات کافی را جهت شناسائی امکانات مخصوص و موارد ابداعی برای انجام کارهایی پیدا کنند که منافع مالی قابل توجهی برای سازمان‌هایشان در پی خواهد داشت.

مقدمه‌ای بر موتورهای الکتریکی و سیستم‌های محرکه

۲- الکتروسیته

برای درک کار موتورهای الکتریکی و محرکه‌ها لازم است که برخی از جنبه‌های انرژی برق را توضیح داد. به طور کلی انرژی برق از سازمان‌های منطقه‌ای خریداری می‌شود. با وجود این می‌توان انرژی مورد نیاز برق را با مولد برق محلی نیز تولید کرد.

۲-۱- مشخصه‌ها

انرژی برق توسط اعمال حوزه مغناطیسی متحرک تولید می‌شود و بسته به شکل مولد برق به هر شکلی که لازم باشد درمی‌آید.

تولید و انتقال انرژی برق به حالت سه فاز به دلایل مهندسی و منافع اقتصادی مورد پذیرش همگان قرار گرفته است. مشخصات عمده و اصلی انرژی برق عبارتند از ولتاژ شدت جریان و در مورد سیستم‌های برق متناوب فرکانس یا بسامد. با ترکیب ولتاژ (ولت) و شدت جریان (آمپر) توان یا قدرت (وات) به وجود می‌آید. در انگلستان شبکه برق سه فاز ۵۰ هرتز و

۴۱۵ ولتی نرم قابل قبولی برای مصرف است. در این شبکه برق یک فاز فشار الکتریکی ۲۴۰ ولت دارد.

در سیستم برق متناوب، شدت جریان (همچنین توان) از چند مؤلفه تشکیل شده است. مؤلفه جریان اهمی که از مقاومت خالص می‌گذرد و مؤلفه جریان از مقاومت القائی و مؤلفه جریان کاپاسیتو از مقاومت خازنی می‌گذرند. (مقاومت‌های اهمی و القائی و خازنی عناصر بار مصرفی هستند). جریان پیش فاز (اندوکتیو) و جریان پس فاز (کاپاسیتو) جمع برداری می‌شوند تا جریان شبکه بدست آید.

جریان اهمی که با بردار ولتاژ همفاز است، توان واقعی (توان حقیقی یا اکتیو) (وات) را تولید می‌کند. جریان راکتیو با ولتاژ، توان مجازی (توان راکتیو) (ولت آمپر راکتیو) را ایجاد می‌کند و از جمع برداری توان‌های حقیقی مجازی توان ظاهری (ولت - آمپر) حاصل می‌شود.

ضریب توان (P.f) از رابطه مثلثاتی این مثلث شکل (۱) بدست می‌آید. در واقع ضریب توان، کسینوس زاویه‌ای را تعریف می‌کند که بین بردار توان کلی (توان ظاهری) با توان واقعی (اکتیو) ایجاد شده است. واحد کمیت توان واقعی بر حسب کیلووات (kw) و توان ظاهری (توان کلی) بر حسب کیلوولت آمپر (KVA) مشخص می‌شود و نسبت عددی توان واقعی بر توان ظاهری $\cos \phi$ یا ضریب توان Power factor را تعیین می‌کند.

شکل ۱ - رابطه KW ، KVA و KVAR

۲-۲ - تعرفه‌ها

ظرفیت تأمین برق سیستم در یک محل معمولاً بر پایه نیاز به توان کل (برحسب KVA) مشخص می‌شود. وقتی که می‌خواهند هزینه برق سیستم را برحسب kw پردازند، ضریب توان را در نظر می‌گیرند. اگر کمتر از مقداری باشد که از پیش تعیین شده، یعنی به طور نمونه مابین ۰/۹ و ۰/۹۴ قرار گیرد، جریمه‌ای (جریمه بار) را متحمل می‌شویم. هزینه‌های مصرف (برق) بر حسب کیلووات میزان توان حقیقی است. که در یک دوره زمانی مشخص، (معمولاً یک ساعت) مصرف شده است. بنابراین کیلووات ساعت (kWh) یکی از واحدهای الکتریسیته شناخته می‌شود.

معمولاً اوج میزان مصرف که به حداکثر تقاضا (MD)^۱ معروف است مشخص شده و برای آن نیز هزینه‌ای پرداخت می‌شود. این مخارج مخصوصاً از ماه نوامبر تا فوریه کاملاً زیادند. بنابراین محدود کردن حداکثر تقاضا با کاهش بار در زمان‌های خاص می‌تواند از لحاظ مالی قابل توجه باشد. بسته به موارد زیر هزینه‌های متوسط الکتریسیته می‌تواند تقریباً بین

^۱ - Maximum Demand

- ۳ و ۷ پوند بر کیلووات ساعت تغییر کند:
 - نوع برق تأمین شده یعنی ولتاژ بالا – ولتاژ پائین.
 - سطح مصرف حداکثر تقاضا و مدت آن.
 - نسبت مصرف در حالت حداکثر به مصرف در حالت غیر آن.
 - نسبت مصرف کل به مصرف حداکثر، که بعنوان ضریب بار **Load factor** شناخته شده است.
 - تعرفه بکار گرفته شده
 - ضریب توان بار مصرفی محل
- در برخی موارد ضریب توان با اندازه‌گیری توان راکتیو بر حسب **kV Arh** و به طریقی مشابه اندازه‌گیری توان حقیقی بدست می‌آید. این روش رجحان دارد زیرا در این صورت ضریب توان در مدت ثبت توان بر اساس مقدار متوسط آن قرار می‌گیرد نه بر اساس حداکثر آن که با تقسیم **kw** بر **kVA** بدست می‌آید. مؤلفه‌های توان القائی و توان خازنی به طور عمودی با هم جمع می‌شوند تا توان فعال شبکه را ایجاد کنند. بنابراین برای تصحیح ضریب توان سیستمی که مقداری مثلاً ۰/۹ «پس افت» دارد بایستی این سیستم جریان خازنی اضافی قابل توجهی دریافت کند. معمولاً این منظور با اتصال بارهای خازنی در ترمینال‌های موتور و یا در نقطه ورودی برق (به محل کار) حاصل می‌شود. این خازن‌ها توان حقیقی حداقلی را مصرف می‌کنند و موقعی که در نقطه ورود برق متصل شوند، می‌توان از طریق یک رله ضریب توان را به طور دستی و یا به طور خودکار کنترل کرد.
- در تأسیسات بزرگ خازن‌ها را می‌توان به طور خودکار در یک سری از مراحل وارد مدار کرد و یا از آن خارج کرد.
- مزیت این کار این است که وقتی که بار تغییر می‌کند ضریب توان بیش از اندازه مورد نظر بهبود نیابد.

اطلاعات بیشتر درباره تعرفه‌ها و ساختار آنها در کتابچه FEO (در مورد بازده سوخت - شماره ۹) داده شده که می‌توان از هر دفتر منطقه‌ای EEO آنرا تهیه کرد.

در موقع محاسبه صرفه‌جویی حاصل از اصلاح راندمان، مهم است که هزینه افزایشی مورد توجه قرار گیرد یعنی فقط هزینه‌ای که مربوط به اجزایی از قیمت میانگین است که با تغییر میزان مصرف تغییر می‌کنند.

۳- موتورهای الکتریکی

۳-۱- انواع

انواع عمده موتورهای الکتریکی که در صنعت و تجارت با آنها مواجه می‌شویم به طور کلی عبارتند از: موتورهای استاندارد القائی با روتور قفس سنجابی^۱ جریان متناوب، و موتورهای القائی جریان متناوب با روتور سیم پیچی شده^۲ موتورهای جریان مستقیم (d-c) از نوع شنت^۳ و سری^۴ و یا موتورهای کمپوند^۵ (مرکب).

موتورهای جریان متناوب از نوع آسنکرون^۶ (غیر سنکرون) هستند و یا از نوع موتور سنکرون^۷ که عمدتاً در توان‌های بالاتر یعنی در توان‌های بیشتر از ۱۵۰ کیلووات به کار گرفته می‌شوند.

نتیجتاً کاربرد آنها تنها در توان‌های بالاتر از نظر اقتصادی قابل توجیه است. همچنین موتورهای جریان متناوب کموتوری سه فاز و موتور و

¹ - Squirrel Cage

² - Wound rotor

³ - Shunt

⁴ - Seri

⁵ - Compound

⁶ - Asynchronous

⁷ - Synchronous

محرکه رلکتانسی متغیر نیز وجود دارد.

هر چند موتورهای کوچک جریان متناوب گاهی ماشین تکفاز ۲۴۰ ولتی با فرکانس ۵۰ هرتز می‌باشند ولی اکثر موتورهای جریان متناوب با برق سه فازه استاندارد ۴۱۵ ولتی و ۵۰ هرتزی کار می‌کنند، این امر بخاطر کارآئی توان محرکه عالی‌تر است که با استفاده از برق سه فاز میسر می‌شود.

برق موتورهای جریان مستقیم از رکتیفایر یا یکسو سازهای استاتیکی تامین می‌شود اما گاه‌گاهی در موارد کاربرد بزرگتر از مجموعه موتور ژنراتورهای چرخان (دوار) نیز تامین می‌گردد.

۳-۲- اجزاء اصلی

قسمت‌های عمده موتورهای الکتریکی عبارتند از:

استاتور، روتور، بدنه مکانیکی و پروانه خنک کننده که روی محور روتور نصب شده است. (شکل ۲)

استاتور و روتور قلب موتور الکتریکی هستند، استاتور جریان بار را می‌کشد و روتور در مورد ماشین‌های القائی جریان متناوب جریان القائی را می‌کشد. هر دوی اینها از ورق‌های نازک فولاد مرغوب ساخته شده‌اند که در آن هادی‌های مس جریان بر روی استاتور پیچیده شده است. به طور کلی در ماشین‌های جریان متناوب بر روی روتور هادی‌های یک تکه آلومینیومی نصب شده است.

در موتورهای القائی قفس سنجابی که عادی‌ترین نوع موتورها می‌باشند، هادی‌های روتور سیم‌بندی اتصال کوتاه می‌باشد. با واکنش سیستم‌های هادی جریان در یک قسمت از موتور (که معمولاً استاتور آن است) با حوزه مغناطیسی حاصله که توسط قسمت دیگری ایجاد می‌شود گشت‌آور تولید می‌گردد. موتورهای کموتاتوری جریان متناوب و موتورهای جریان مستقیم کموتاتور جاروبک دارند تا برق را به سیم‌پیچی روتور برسانند.

۳-۳- تلفات

کل اتلاف‌ها در موتورهای الکتریکی شامل چهار قسمت عمده می‌باشند که عبارتند از:

- تلفات آهنی (تلفات مغناطیس‌کنندگی یا تلفات هسته) که مقدار آن به ولتاژ بستگی دارد بنابراین برای هر موتور خاصی مستقل از میزان بار آن ثابت است.
- تلفات مسی که به میزان تلفات گرمائی شناخته می‌شود و متناسب با مجذور جریان بار است.
- تلفات اصطکاکی (یا تلفات مکانیکی) و تلفات سیم‌پیچی که مستقل از میزان بار معلومی مقدار آن ثابت است.

• تلفات مربوط به بار هرز

شکل (۳) یک نمونه از منحنی تغییرات تلفات نسبت به بار موتور القائی را نشان می‌دهد. تلفات آهنی شامل تلفات هیستریزیس و تلفات فوکو (جریان‌های سرگردان) می‌باشد. میزان تلفات هیستریزیس به نوع و ترکیب هسته‌ها (ورق‌های فولادی) بستگی دارد و بخش دیگر یعنی تلفات فوکو (یا تلفات جریان‌های سرگردان) است. میزان تلفات آهنی در تعیین مقدار ضریب توان موتور موثر است.

تلفات آهنی در بار کم افزایش یافته و از این‌رو منجر به ایجاد ضرایب توان کم می‌شود. موتور القائی حتی در بار کامل نیز ضریب توان نسبتاً ضعیفی دارد مثلاً بین $0/8$ تا $0/9$ پس فاز می‌باشد. لذا به لحاظ اقتصادی لازم است تا جایی که میسر باشد

در انتخاب مناسب و همسازی موتور با بار دقت کافی به عمل آید تا راندمان‌های کم و ضرایب توان ضعیف به حداقل ممکنه برسند.

موتورهای کوچک در مقایسه با موتورهای بزرگتر مشخصه‌های ضریب توان ضعیف‌تری دارند و لذا در تأسیساتی که موتورهای کوچک زیادی به کار گرفته شوند احتمال کاهش ضریب توان وجود دارد.

شکل ۳ - آفت توان در موتورهای الکتریکی

۳-۴ - کنترل

راه‌اندازی موتور الکتریکی و حفاظت آن در زمان کاربرد توسط یک کلید الکترومکانیکی انجام می‌گیرد که شامل یک کنتاکتور اصلی بابوبین اورلد (اضافه بار) و یک بابوبین کنترل با کنتاکت‌های وابسته می‌باشد و این کلید خاموش و روشن کردن دستی و یا خودکار موتور را امکان‌پذیر می‌کند.

کلیدهای راه‌اندازی الکترومکانیکی کامل‌تری نیز وجود دارد که می‌توان به کمک آن گردش موتور را عوض و یا به کمک اتصال (ستاره - مثلث) جریان راه‌اندازی را محدود کرد. اتصالات (ستاره - مثلث) در شکل ۴ نشان داده شده است.

شکل ۴ - اتصالات مثلث و ستاره موتور

۳-۵- کاربرد

موتورهای الکتریکی برای رفع نیازمندیهای اساسی محرکه مکانیکی به کار گرفته می‌شوند. این نیازمندیها با توجه به مشخصه‌های تجهیزاتی تعیین می‌شوند که از جمله موارد زیر را می‌توان نام برد:

- دور ثابت / بار ثابت
- دور متغیر / بار متغیر
- خاموش روشن (با بار / بدون بار)

- دور ثابت / بار متغیر یعنی چرخه کار

۳-۶- تعمیر و نگهداری

به طور کلی نگهداری موتورهای الکتریکی ساده است. به هر حال بخاطر این سادگی نسبی برخی اوقات به آن توجه کافی مبذول نمی‌شود. زمانیکه طرز نگهداری موتورهای الکتریکی را طرح‌ریزی می‌کنیم نکات عمده‌ایکه بایستی در نظر گرفته شوند عبارتند از:

- روغن‌کاری باتاقان‌ها
- پاکیزگی کلی موتور
- لنگرگیری مکانیکی
- یکپارچگی الکتریکی عایق‌کاری
- وضعیت کموتاتور (یکسو کننده جریان)، حلقه‌های لغزان، و جاروبک

۳-۷- سیم‌پیچی

وقتی که سیم‌پیچی‌های موتور معیوب شود سیم‌پیچی مجدد از لحاظ هزینه مقرون به صرفه است. به هر حال بایستی دقت خیلی زیادی بعمل آورد تا مطمئن شد که بازپیچی موتور با بالاترین استاندارد انجام شده و منجر به ایجاد کیفیتی که مشابه کیفیت اولیه آن گردد.

نکات مخصوصی که موقع سیم‌پیچی موتورها بایستی ملاحظه شود عبارتند از:

- سیم‌های هادی باید دارای سطح مقطع کافی باشند تا حتی الامکان مقاومت را در حد پائین نگاه دارند، بنابراین در این صورت تلفات گرمایی به حداقل می‌رسد.
- بایستی عمل حرارت دادن لازمه (قبل و بعد از کار سیم‌پیچی) بدقت انجام گرفته و کنترل شود تا صدمات احتمالی به ورقه‌های فولادی محدود شود. شاید کوتاهی و کنترل شود تا صدمات احتمالی به ورقه‌های فولادی محدود شود. شاید کوتاهی از انجام چنین کاری اثر معکوسی در مشخصه‌های مغناطیسی بگذارد و به دنبال آن بر میزان تلفات موتور بیفزاید و بنابراین بر موتور تأثیر بگذارد.

۴- سیستم‌های محرکه

معمولاً سیستم‌های مدرن راه‌اندازی و کنترل را سیستم‌های محرکه می‌گویند از فن آوری ریز کامپیوتر برای تسهیل بازرسی مداوم و دقیق و نیز برای بهره‌برداری از انواع موتورها و موارد کاربردشان استفاده می‌کنند. وقتی که ما در این کتابچه راهنمای فن بهره‌وری از محرکه یا سیستم محرکه سخن به میان می‌آوریم اشاره به جنبه‌های مکانیکی تجهیزات یا ماشین‌آلات محرک نیست. بلکه صرفاً به روش و کنترل کردن خروجی و کار موتور و هر نوع کوپلینگ قدرت همراه آن اشاره می‌کند. اساساً سه روش برای اصلاح بازده انرژی با تعویض موتور و سیستم‌های محرکه وجود دارد.

۱- موتورهای با بازده بالا، این نام کلی موتورهای الکتریکی است که برای تقلیل تلفات موتور طراحی شده‌اند.

۲- کنترل‌کننده‌های موتور: برخی اوقات بعنوان کنترل‌کننده‌های ولتاژ یا راه‌انداز ملایم دارای راندمان انرژی بالا شناخته شده‌اند.

اینها ولتاژی را که به ترمینال‌های موتور می‌آید پیوسته طوری تنظیم می‌نمایند که دقیقاً برای بار موتور کافی باشد. بنابراین تلفات آهنی مربوط به ولتاژ به حداقل می‌رسند.

معمولاً کنترل کننده‌های موتور از یک وسیله راه‌اندازی ملایم تشکیل شده است. این وسیله شدت جریان حداکثر در حین راه‌اندازی موتور را کاهش می‌دهد. ۳- سیستم‌های با دور متغیر که به طور گسترده در سه طبقه بندی قرار می‌گیرند. هدف، تنظیم سرعت بار مطابق برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده می‌باشد. این سیستم‌ها از موارد زیر تشکیل شده‌اند:

معروف‌اند و انواع مختلفی دارند. VSD محرکه‌های دور متغیر الکترونیکی: که به این‌ها تطبیق الکترونیکی سرعت موتور و برق ورودی به آن تا (حد نیاز بار) موتور کار می‌کنند. بنابراین تلفات آهن و سایر تلفات تا حداقل مقدارشان کاهش می‌یابند.

موتورهای با دور متغیر: اینها شامل موتورهای دور متغیر مرسوم، و موتورهای دو سرعته و نیز شامل موتورهای جدید «آخرین فن‌آوری» می‌شوند. این موتورها از قابلیت مدرن کنترل الکترونیکی برای گسترش کاربرد موتورهایی که قبلاً توسط کنترل کننده‌های مرسوم الکترومکانیکی کنترل می‌شدند استفاده می‌کند.

محرکه‌های الکترومکانیکی: اینها موتورهای دور ثابت را با کنترل های مکانیکی یا الکترومکانیکی جهت تغییر سرعت سیستم راه‌اندازی شده را بکار می‌برند.

ها (جعبه سیاه‌های الکترونیکی) هستند که جایگزین VSD کنترل کننده‌های موتور راه‌اندازی‌های مرسوم الکترومکانیکی موتورهای می‌شوند. و عمدتاً با قرار گرفتن در مجاورت این موتورها از لحاظ فیزیکی می‌توانند بزرگتر از راه‌اندازهایی باشند که جایشان را می‌گیرند اما معمولاً بازبینی و تعویض آن‌ها آسان است.

۵- فرصت‌های صرفه‌جویی

در اکثر موتورهای الکتریکی فرصتی برای نیل به صرفه‌جویی‌های هزینه بخاطر موارد ذیل وجود دارد:

- موتورهای در اندازه‌های ثابت و معین ساخته می‌شوند و احتیاط ایجاب می‌کند که موقع انتخاب یک موتور حتی برای بار ثابت اندازه بزرگ را انتخاب کنید.
- تا زمان‌های اخیر، تنظیم دور و یا ولتاژ برای ادامه یک بار متغیر به جز در موتورهای بزرگ غیر ممکن بود.
- همیشه هزینه‌های انرژی به عنوان بخش قابل توجهی از هزینه‌های کلی بهره‌برداری تلقی نمی‌شدند.
- موتورهای با بازده بالا نسبتاً موتورهای جدیدی هستند که به شمار موتورهای موجود

اضافه شده‌اند.

کاربرد موتورهای الکتریکی آنقدر گوناگون است که ارائه فهرست و لیست خسته کننده‌ای از فرصت‌های صرفه‌جویی‌های بالقوه غیرواقع‌بینانه خواهد بود. بهر حال نمونه‌ای از موارد گوناگون که با اطمینان می‌توان در آنها صرفه‌جویی‌هایی را انتظار داشت به قرار زیر است:

پمپ‌ها - کمپرسورها - بادبزن‌ها (فن‌ها) - نقاله‌ها - مخلوط‌کن‌ها - ماشین افزار - مبردها - ماشین‌های صنعت - خمیر کننده‌های کاغذ

برخی از معمولی‌ترین کاربردها در قسمت (ب) این راهنمای فنی مورد بحث قرار گرفته است. بهر حال، همه اینها در کاهش هزینه مؤثر نخواهد بود. مثال‌هایی که بر روی آنها کار انجام شده است و منافع را نشان می‌دهند که می‌توان بدست آورد ارائه شده‌اند. همچنین نمودار درختی تصمیم‌گیری نیز ارائه شده است تا به کمک آن بتوان حوزه‌های سودمند کاربرد فن‌آوری موجود را شناسایی کرد.

امکانات فنی، اجرای کار و صرفه‌جویی در هزینه

۶- اندازه‌گیری‌های محلی

برای محقق کردن این امر که چه منافع بالقوه‌ای را از سرمایه‌گذاری در موتورهای با بازده بالا یا محرکه‌های اصلاح شده می‌توان به دست آورد، در وهلهٔ اول لازم است که عوامل واقعی اجرای کار را جهت سیستم‌های موجود تحقیق کرده این امر با انجام اندازه‌گیری‌هایی که در محل کارگاه انجام می‌شود حاصل می‌گردد.

سازندگان موتورهای الکتریکی آزمون‌های استاندارد را برای تعیین دقیق بازده موتور انجام می‌دهند. بهر حال در بیشتر موارد برای مصرف‌کننده امکان‌پذیر نیست که چنین اندازه‌گیری‌هایی را انجام دهد. موارد زیر را با استفاده از ابزار دقیق معمولی می‌توان بررسی نمود:

- ورودی توان الکتریکی (کیلووات)
- ضریب توان
- بازده و خروجی مکانیکی

در محدوده توانی که ملاحظه می‌کنیم (کمتر از ۱۵۰ کیلووات) ادوات و ابزار اندازه‌گیری الکتریکی توان به خود موتورها نصب نمی‌شود. بهر حال وسیله اندازه‌گیری وجود دارد که بتوان به طور موقتی برای ثبت توان ورودی به موتور متصل نمود.

۱-۶- ایمنی

برای جلوگیری از بروز حوادث الکتریکی و مکانیکی که می‌توانند در صورت عدم رعایت احتیاط‌های جدی خطر مرگ داشته باشند، رعایت نکات ایمنی در هنگام انجام اندازه‌گیری‌ها در درجه اول اهمیت قرار دارد.

بایستی مقررات مقتضی و مناسب اجرائی ایمنی و بهداشت را رعایت نمود؛ توصیه می‌شود که شخص مجرب و مبرزی آزمون‌ها و اندازه‌گیری‌ها را انجام دهد.

تمام « مجوزهای ایمنی کار » بایستی پیش از انجام اندازه‌گیری‌ها کسب شده و هرگونه مقرراتی بایستی کاملاً دانسته و عملی گردد.

۲-۶- کسب اطلاعات

چندین نوع ابزار برای ثبت کمیتهای لازم الکتریکی موجود است. اطلاعاتی که در مقدار KVA یا کیلوولت آمپر KW اکثر حالات لازم است بدانیم عبارت است از کیلووات برای KWh و کیلووات ساعت $KVarh$ تقاضا و جزئیات مصرف کیلوولت آمپر راکتیو بدست آوردن این اطلاعات لازم است که ولتاژ و شدت جریان نشان داده شوند.

معمولاً اندازه‌گیری ولتاژ با اتصال موازی دستگاه ولت‌متر به ترمینال‌های موتور انجام می‌شود. اندازه‌گیری شدت جریان را می‌توان با استفاده از آمپرمترهای گیره‌ای (ها) که دور هر فاز هادی CT یا ترانسفورماتورهای شدت جریان ($Ampermeter$) برق‌رسانی موتور نصب می‌شوند اندازه گرفت.

برخی دستگاه‌های کنترل و اندازه‌گیری برق تک‌فاز استاندارد ۲۴۰ ولتی سیستم تحت اندازه‌گیری استفاده می‌کنند. در این موارد کافی است که فقط شدت جریان اندازه‌گیری شود حتی اگر شکل موج برق از لحاظ کنترل کننده موتور دچار اعوجاج (چولگی) شود باز $Clip-on$ امکان‌پذیر است که با استفاده از ترانسفورماتورهای اندازه‌گیر جریان نوع گیره‌ای اندازه‌گیری دقیقی بدست آورد. (on)

با وجود این اگر ضریب توان کم باشد این امر توصیه نمی‌شود. شکل (۵) اتصالات اصلی را نشان می‌دهد.

شکل ۵ - طرز اتصال تحلیل‌گر انرژی

ادوات سنجش و ثبت قدرت الکتریکی قابل اعتماد و مجهز را می‌توان بسته به درجه پیچیدگی آن‌ها ما بین ۷۰۰ تا ۲۰۰۰ پوند خرید و یا هفته‌ای ۵۰ تا ۱۰۰ پوند کرایه کرد. برای شناخت جزئیات عرضه کنندگان و تولید کنندگان به ضمیمه شماره ۲ نگاه را اندازه‌گیری (Kwh) و انرژی مصرفی (Kw) کنید. به هر حال همه ادوات قدرت نمی‌کنند و هنگام انتخاب این قبیل تجهیزات باید دقت کافی مبذول داشت. برای اندازه‌گیری خوب قدرت یک موتور یا به طور کلی یک سیستم برق لازم است هم قدرت مصرفی را با یک دستگاه واتمتر و هم از طریق اندازه‌گیری ولتاژ و آمپر موثر بدست آورد. لازم به ذکر است که ولتمتر به طور موازی و آمپرتر به طریق سری با بار وصل می‌شود. از رابطه زیر حساب می‌شود: (p.f) در این حالت ضریب قدرت

توان ورودی (وات)

= ضریب قدرت

.. ۴ \ * .. آ .. * .. ۱

$$\frac{\text{kw}}{\text{KVA}} \quad \text{یا} \quad \frac{\text{W}}{\text{VA}} \rightarrow \underline{\hspace{2cm}}$$

موتورها و محرکه‌ها به طور جداگانه پایدار نمی‌مانند مگر آن‌که بخشی از فرایند جامع و یا سیستم فراگیر باشند، لذا قبل از انجام هرگونه آزمون و یا اصلاحاتی، شناخت کاری موتور در سیستم امری ضروری و بدیهی است.

عملکردها و موارد نادرستی که کارآئی ندارند باید شناسایی شده در صورت لزوم از سیستم حذف شوند. فقط پس از آن می‌توان ارزیابی نسبتاً درستی از موقعیت حقیقی به عمل آورد. مثلاً اگر تجهیزات راه‌اندازی شده به وسیله محرکه نیازمند نگهداری تغییرات باشد باری که بر روی موتور اعمال می‌شود می‌تواند خیلی بیشتر از نیاز واقعی باشد. در نتیجه ممکن است نتایج هر آزمونی بهترین مورد ممکنه از اصلاحات موتور و یا سیستم محرکه را منعکس نکند. بایستی داده‌ها و اطلاعات اندازه‌گیری شده را در ارتباط با مشخصه‌های نامی موتور برای تخمین راندمان و خروجی مکانیکی مورد استفاده قرار داد. همچنین می‌توان از آن برای محاسبه هزینه‌های کارکرد نیز اگر تغییراتی داده شده، برای برآورد صرفه‌جویی‌های بالقوه استفاده نمود.

۶-۳- کمک گرفتن

معاونین و دستیاران متخصص را می‌توان از مشاورین سازندگان، تهیه کنندگان موتور یا مقاطعه کاران الکتریکی - مکانیکی انتخاب کرد. معمولاً منافع بالقوه حاصل از اصلاح راندمان موتورها و سیستم‌های محرکه کافی است که استفاده از کمک‌های بیرونی (خارج از محل کار) را توجیه کند با این همه، شاید به کارگیری متخصصین مستلزم هزینه‌هایی نیز باشد.

۶-۴- مواردی که بار یا سرعت تغییر می‌کند

همچنین در مواردی که تغییرات مهمی در بار یا دور موتور یا سیستم محرکه ایجاد می‌شود، لازم است که "زمان کارکرد"^۱ را تعیین نمود. (به شکل ۶ نگاه کنید) مثلاً در مورد یک پمپ این کار با بررسی فشار و جریان سیستم هیدرولیک در طول دوره زمانی که به عنوان نمونه انتخاب می‌شود انجام می‌گیرد.

در شکل (۶) این "زمان کارکرد" به هشت قسمت تقسیم شده است. هر قسمت نسبتی از کل زمان کارکرد پمپ که صرف تحویل آن جریان مخصوص از سیال می‌شود نشان می‌دهد.

در مدت زمان یا دوره‌های مهمی از زمان این پمپ در حد کمتر از مقدار ظرفیت خود کار می‌کند. در حقیقت تقریباً برای ۵۰٪ از زمان مقدار جریان به اندازه ۶۰٪ یا کمتر از مقدار ظرفیت پمپ است و کاربرد محرکی با دور متغیر "موثر در هزینه" خواهد بود.

^۱ - duty cycle

شکل ۶- دوره تناوب عمل نمونه‌ای پمپ سانتریفوژ

۶-۵- برآورد هزینه بهره‌برداری در شرایط فعلی

در مواردی که یک وسیله‌ای توسط موتوری بکار می‌افتد و بار مداوم و پایداری را بر موتور تحمیل می‌کند، به آسانی هزینه‌های عملیات را می‌توان برآورد کرد. بهر حال موارد کاربرد زیادی هست که در آن ماهیت نوسانات بار، دوره‌ای یا غیر مداوم می‌باشد. در چنین مواردی بایستی (منحنی) تغییرات بار در دوره زمانی نمونه و مفید توسط بررسی و ثبت زمان‌ها و سطوح متغیر بار تحمیلی تعیین گردد. هزینه‌های کارکرد را می‌توان با استفاده از راندمان‌های موتور و بار ارزیابی شده و زمان کاربرد مربوطه محاسبه کرد.

بخش دوم / امکانات فنی اجرای کار و صرفه‌جویی در هزینه

دو مثال از هزینه‌های جاری^۱ در زیر ارائه شده است. راندمان موتورها از برگه‌های اطلاعاتی تولیدکنندگان گرفته شده است.

^۱ - Running Costs

محاسبه ۱:

پایه:

خروجی قدرت موتور: ۳۰ کیلو وات

راندمان در بار کامل: ۸۷٪

خروجی موتور در بارگذاری ناقص: ۲۰ کیلو وات

راندمان به دست آمده: ۸۵٪

ساعات کار سالانه: ۲۰۰۰ ساعت

هزینه انرژی: هر کیلو وات ساعت، ۵ پوند

هزینه سالانه انرژی برای کارکرد مداوم تحت بار واقعی:

$$= \text{هزینه بر حسب پوند} \frac{(20 \times 2000)}{0/85} \text{ پوند} = 2/353 \times 0/05 =$$

محاسبه ۲:

پایه:

این محاسبه نیز مانند نمونه ۱ است اما با این فرق که ۲۰۰۰ ساعت به ۵۰۰ ساعت با بار کامل، ۱۰۰۰ ساعت در ۲۰ کیلو وات و ۵۰۰ ساعت در بار هرزگرد ۵ کیلووات تقسیم شده است. تحت این شرایط، راندمان محاسبه شده به ۷۵٪ کاهش یافته است.

$$\text{هزینه بر حسب} \times 0/05 = \frac{(5 \times 500)}{0/75} + \frac{(20 \times 1000) \times 0}{0/85} + \frac{(\times 0/05500)}{0/87}$$

پوند

$$= [3333 + 23529 + 17241] \times 0/05$$

$$= \text{پوند} 2205$$

اگر بتوان موتور را در حین زمان کار بیهوده (هرزگرد)¹ خاموش کرد در این صورت می‌توان معمولاً در هزینه‌ها صرفه‌جویی کرد. یک عامل مجهول عبارتست از مقدار انرژی اضافی که در حین راه‌اندازی مجدد مصرف می‌شود. بهرحال برای موتورهای با زمان‌های کارکرد سریع و سرعت زیادتر یا جریان‌های غیرعادی در راه‌اندازی، بر اساس یک راه‌اندازی در ساعت توان دیگری بغیر از توان اضافی که از ۱٪ توان موتور تجاوز نمی‌کند انتظار نمی‌رود. معمولاً تاثیر آن بر حداکثر تقاضا به دلیل مراحل ناپایدار اضافی دیگر نیز حداقل خواهد بود.

این محاسبات به این دلیل که ساختار تعرفه واقعی برق را که معمولاً پیچیده‌تر است و شامل هزینه‌های حداکثر تقاضا می‌باشد در نظر نگرفته تا حدی ساده شده است.

۶-۶- ذخیره‌کردن اطلاعات

مهم است که تمام داده‌ها و اطلاعات به صورت سازماندهی شده جدول‌بندی شوند. بطوریکه در هر زمان بتوان کارآئی را مورد تجدید نظر سیستماتیک قرار داد. نتایج حاصله همراه با مناسب‌ترین حالت بهبود از نظر مالی باید در بالای فهرست گنجانده شوند.

برای تسهیل محاسبات مجدد و تطبیق آنها با شرایط کنونی می‌توان با بکارگیری کامپیوتر و یک برنامه صفحه گسترده^۲ تجدید نظری سیستماتیک و سریع در برنامه‌هایی انجام داد که قبلاً مورد تحقیق واقع شده و تا کنون به اجرا در نیامده‌اند. هنگامی که منابع محدود سرمایه مانع اجرای کامل این طرح‌ها می‌شوند، این کار می‌تواند بی‌نهایت سودمند باشد.

بعلاوه اگر به موتورها کد مخصوصی اختصاص داده شود برای مراجعه آتی مفید خواهد بود. این کدگذاری را می‌توان بسادگی بر روی موتور با رنگ انجام داد و یا اگر مناسب تشخیص داده شود تا یک پلاک یا عکس برگردان را به آن الصاق نمود.

۷- امکانات صرفه‌جویی کم هزینه

¹ - Idling Periode

² - Spread sheet

پیش از مبادرت به طرحی از تجدید و احیای موتور و یا محرکه، تجدید نظر در موقعیت موجود جهت تعیین اینکه آیا می‌توان بدون تحمل هزینه‌های مهم به صرفه‌جویی‌ها دست یافت یا نه توصیه می‌شود.

۷-۱- عملکرد توقف / شروع

ساده‌ترین راه نیل به صرفه‌جویی‌ها عبارت است از خاموش کردن موتور در حالی که مورد نیاز نباشد. در بسیاری از موارد در شروع روزکاری موتورها روشن می‌شوند، لیکن مداوماً به کار نمی‌آیند. افت و اتلاف انرژی در حین مدت روشن بودن هرز می‌تواند مقدار قابل توجهی باشد. همچنین کاربردهایی وجود دارد که در آن موارد و تحت شرایط کارکرد عادی ممکن است یک واحد خاصی مورد نیاز نباشد. مثلاً واحدهائی را که هوا انتقال می‌دهند می‌توان بدون تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر کیفیت هوا در فضای تهویه شده در دوره‌های زمانی چشمگیری خاموش کرد.

ابزارهائی وجود دارند که توقف خودکار موتور را تسهیل می‌کنند. عمده این ادوات زمانیکه موتور بدون بار کار می‌کند در مدتی از پیش تعیین شده به طور خودکار آن را خاموش می‌کند. موارد استعمال آنها برای نمونه شامل موارد زیر است:

- موتور ماشین‌های بافندگی که در حال تولید و یا علی‌رغم حل مشکلات ماشین باز هم روشن و در حال کار باقی می‌ماند.
- پمپ‌ها و کمپرسورها که هنگام بسته بودن شیرها کار می‌کنند.
- ماشین‌افزاری که در مدت استراحت برای صرف غذا و یا بین عملیات مختلف برش‌کاری روشن باقی می‌ماند.

روش دیگر شامل توقف موتور در هر ساعت برای مدت تنظیم‌شده‌ای می‌باشد. این کار معمولاً در مواردیکه گروهی از موتورها در سیستم وجود دارند و هر یک را می‌توان برای مدت نسبتاً کوتاهی متوقف نمود مؤثرتر است. برای اطمینان از یکپارچگی الکتریکی موتورها و تجهیزات کنترل‌کننده آنها، بایستی از روشن و خاموش کردن اضافی خودداری کرد. کاربردهای این موارد شامل طرح‌های بزرگ تهویه مطبوع و بادبزن مکش هوا و پمپ‌های دورانی می‌باشد.

ارزیابی میزان صرفه‌جویی حاصل از تجهیزات خاموش‌کننده خودکار نسبتاً آسان است.

در محاسبه ۲(بخش ۶)، هزینه کار بیهوده یک موتور با مصرف توان ۵ کیلووات به مدت ۵۰۰ ساعت ۱۶۷ پوند در سال بود. در این محاسبات از اثر ضریب قدرت کم صرف نظر شده است که برای موتورهای که بار کم بارگذاری شده‌اند امری عادی است، زیرا تأثیر آن بر صرفه‌جویی‌ها، قابل صرف‌نظر خواهد بود، مگر اینکه اکثر موتورهای کارگاه، به نحو مشابهی بارگذاری شده باشند. همچنین هزینه‌های احتیاطی و جنبی ناشی از جریان استارت نادیده گرفته شده‌اند.

در ارتباط با کارهای تنظیم و تعدیل روش‌های قطع و وصل (روشن و خاموش کردن) موتور، تجدید نظر در ساختار تعرفه عاقلانه است. اکثر تعرفه‌های الکتریسیته مصرف‌کننده‌هایی را که گرایش به در شرایط پیک مصرف برق دارند را شامل جریمه می‌کند. شاید با جدول‌بندی دوباره کارهای اجرائی کارگاه یا کارخانه جهت تنزل دادن تقاضای قدرت حداکثر، صرفه‌جویی‌ها در هزینه امکان‌پذیر گردد. به همین ترتیب شاید انتقال کارهای اجرائی به دوره زمانی که در آن تعرفه الکتریسیته بهای کمی دارد عملی باشد.

۷-۲- اتصال ستاره مثلث

در بخش سوم اتصالات ستاره مثلث سیم‌پیچی موتور به طور خلاصه ذکر شد. در بسیاری از حالات تمام شش سرسیم‌پیچ‌های سه فاز موتور در جعبه ترمینال (جعبه تقسیم) بیرون آورده شده تا اتصال ستاره یا مثلث را آسان کند. (شکل ۷)

شکل ۷- اتصالات ستاره / مثلث

وقتی که سیم‌پیچ‌های یک موتور سه فاز در حالت عادی و در ولتاژ کار به صورت $\sqrt{3}$ مثلث است با اتصال مجدد سیم‌پیچ‌های آن به صورت ستاره، ولتاژ هر سیم‌پیچ با مرتبه (۵۸٪ مقدار ولتاژ نامی آن) کاهش می‌یابد. بهر حال برای هر بار معینی شدت مرتبه افزایش خواهد یافت تا افت ولتاژ را جبران کند، $\sqrt{3}$ جریان داخلی سیم‌پیچ‌ها با و هر وسیله مقدار قدرت محدود موجود را فراهم سازد.

کار مداوم در این حالت فقط زمانی انجام می‌شود که موتور به طور دائم زیربار، بار کمتر از ۵۸٪ بار کامل کار می‌کند. در چنین سیستمی خریدن یک موتور کوچک برای جایگزینی آن ارزان‌تر است و اگر بعداً قدرت بار کامل لازم شود تبدیل کردن دوباره به اتصال مثلث به آسانی انجام‌پذیر است.

شکل ۸ - اثر اتصال مجدد از مثلث به ستاره در یک موتور استاندارد ۷/۵ کیلوواتی بر تلفات

Syrry این صرفه‌جویی‌های توان در بار کم با کارهای تحقیقاتی که در دانشگاه انجام شد اثبات و نشان داده شد. در موتور ۷/۵ کیلوواتی استاندارد، اتصال مجدد از حالت مثلث به ستاره توان خروجی موجود را به ۴/۳ کیلووات محدود نمود. با این همه در بارهای سبک، میزان صرفه‌جویی معقول و توجیه‌پذیر بود. در بار ۱ کیلووات، کاهش معادل ۵۰٪ اتلاف، تا حد ۰/۲۵ کیلووات، حاصل شد. وقتی که این بار تقریباً از نصف مقدار اسمی تجاوز میکند، صرفه‌جویی از میان رفته و تلفات بیشتر از تلفات اتصال مثلث می‌شوند. این روند در شکل ۸ نشان داده شده است. تاثیر اتصال مجدد سیم‌پیچی‌های موتور بصورت ستاره کاهش دادن اتلاف آهن مرتبط با ولتاژ است. در بارهای سبک، اتلاف آهن چشمگیرتر از اتلاف مس مربوط به جریان می‌باشند و بنابراین، هر چند که افت مس بر اثر افزایش شدت جریان افزایش می‌یابد. اما این اتلاف بیش از مقدار جبران‌کننده‌ای است که با کاهش اتلاف آهنی بوجود می‌آید.

به همین گونه در بارهای خیلی کم نشان داده شد که مصرف قدرت غیر موثر در مورد اتصال ستاره کمتر است. در مورد موتور استاندارد ۷/۵ کیلوواتی، صرفه‌جویی در قدرت غیر موثر (توان راکتیو) که تابعی از توان خروجی است در شکل ۹ نشان داده شده است.

سود حاصله از کاهش مصرف قدرت غیر موثر را فقط در رابطه با تعرفه برق و با دانستن (الگوی) تغییرات بار جهت تأسیسات کامل می‌توان ارزیابی نمود. همچنین مصرف کمتر قدرت غیر موثر پایداری و ثبات ولتاژ بهتری را در ترمینال‌های موتور و نیز امکانات

و فرصت‌هایی را جهت اندازه‌های کوچکتر کابل واقدامات کمتری را برای اصلاح ضریب توان ارائه خواهد نمود. موتورهای با راندمان بالا^۱ بعداً مورد بحث قرار خواهد گرفت، لیکن نشان Surrey مناسب است که توجه داشته باشیم که داده‌ها و اطلاعات حاصل از دانشگاه داد که تفاوت کارآئی موتور استاندارد با اتصال ستاره و موتور با راندمان بالا در حالت اتصال ستاره بسیار ناچیز است.

شکل ۹ - تأثیر اتصال مجدد از مثلث به ستاره بر قدرت غیر مؤثر موتور استاندارد ۷/۵ کیلوواتی ۳-۷- نمودار درختی تصمیم‌گیری
نمودار درختی تصمیم‌گیری در شکل (۱۰) می‌تواند در تعیین اینکه آیا جایگزین کم هزینه‌ای وجود دارد یا نه سودمند واقع شود.

¹ - High efficiency motors

شکل ۱۰- نمودار درختی : امکانات انتخاب در کنترل اصلی

فقط اگر یک راه‌اندازی ستاره - مثلث به موتور وصل شده باشد بایستی جایگزین راه‌اندازی موتور در حالت ستاره انتخاب شود. در صورتیکه این راه‌انداز وصل نشده باشد جایگزین کم هزینه دیگر استفاده از یک کنترل کننده موتور است. این مطالب در بخش ۲- ۸ مفصلاً مورد بحث قرار گرفته است.

۸- فن‌آوری

یک شناخت اساسی از فن‌آوری‌های مربوطه در انتخاب مدلی که بر هزینه‌ها تأثیر بگذارد و تلفات سیستم را به حداقل برساند، مفید است. موتورهای با راندمان بالا (که در بخش ۸/۱ مورد بحث قرار گرفته‌اند) و کنترل‌کننده‌های موتور (بخش ۲-۸) آلترناتیوهای برای موتورهای با دور ثابت هستند.

در پایان قسمت ۲-۸، نمودار درختی تصمیم‌گیری که جزئیات حوزه‌های کاربرد مناسب این فن‌آوری‌ها را به تفصیل ارائه می‌کند، آمده است. قسمت ۳-۸ به بحث پیرامون امکانات تغییر سرعت موتور می‌پردازد.

همانطور که در بخش ۳ گفته شد، افت‌های موتور عبارتند از:

- تلفات مسی (I^2R) که متناسب با بار هستند.
- تلفات آهنی، مستقل از بار و ثابت هستند.
- تلفات مکانیکی، که به سرعت یا دور موتور مربوط‌اند لیکن مستقل از بار می‌باشند.
- تلفات اضافی که متناسب با بار هستند.

۸-۱- موتورهای با راندمان بالا

وقتی که موتوری برای تولید گشت‌آور نسبتاً ثابت و مداومی لازم است، معیار عمده بالا باشد در این (duty cycle) انتخاب آن راندمان بار نامی آن است. اگر زمان کارکرد صورت موتورهای با بالاترین راندمان، کمترین هزینه کارکرد را ارائه خواهند داشت.

موتورهای القائی با راندمان بالا، در مقایسه با موتورهای استاندارد مشابه برای هر بار فرضی، میزان برق کمتری مصرف می‌کنند. معمولاً در ساخت این موتورها از همان موادی که موتورهای استاندارد دارند استفاده می‌کنند، لیکن آهن بیشتری در ساخت آن‌ها بکار رفته و در برخی موارد ورقه‌های فولادی بکار رفته در آنها کیفیت بهتری دارند، یکی از سازندگان اصلی این موتورها در انگلستان، یعنی شرکت "بروک کرامپتون پارکینسون"^۱ چهار مورد اصلاحاتی را ذکر می‌کند که می‌تواند در راستای راندمان انرژی در محدوده فعالیت آنها سودمند واقع شود.

- افزایش طول هسته ساخته شده از ورقه‌های فولادی با تلفات کم. اینها تراکم خطوط نیرو را کاهش می‌دهند و در نتیجه تلفات آهنی نیز کاهش می‌یابد.

¹ - Brook crompton parkinson

- تلفات مسی با حداکثر بهره‌گیری از شیارها و انتخاب اندازه "بار" سیم‌های هادی در استاتور و روتور کاهش می‌یابد.
 - تلفات متفرقه با انتخاب دقیق تعداد شیارها و شکل هندسی دندانه / شیار به حداقل می‌رسند.
 - یک موتور با راندمان بالاتر حرارت کمتری تولید می‌کند بنابراین می‌توان اندازه فن خنک کننده را کوچک‌تر گرفت که به نوبه خود منجر به تلفات کم سیم‌پیچی شده و در نتیجه قدرت تلف شده نیز کاهش می‌یابد.
- شکل (۱۱) راندمان موتورهای استاندارد را با راندمان موتورهای با راندمان بالا که توسط شرکت "بروک کرامپتون پارکینسون" تولید می‌شوند، مقایسه می‌کند.

شکل ۱۱ - مقایسه راندمان بار کامل موتورهای (۴ قطبی) استاندارد و موتورهای ۴ قطبی با راندمان بالا اندازه‌گیری‌های مستقل در موتورهای با راندمان بالا

سه موتور با راندمان انرژی بالا تولیدی شرکت EEO از طرف Surrey دانشگاه "بروک کرامپتون پارکینسون" آزمایش نموده و کارآئی آنها را با سه موتور القائی استاندارد مقایسه کرد. موتورهای مورد امتحان قدرت اسمی ۳، ۷/۵ و ۲۲ کیلووات داشتند.

در شکل (۱۲) نمونه داده‌های مربوط به موتورهای ۷/۵ کیلوواتی نشان داده شده است. برای موتور با راندمان بالا در سرتاسر تمام محدوده‌کاری هم راندمان و هم ضریب قدرت برتر و بهتر است. این امتحان گواهی‌های آزمون مشخصات سازنده موتور را تأیید و تصدیق نمود.

شکل ۱۲ - مقایسه ضریب راندمان و قدرت در موتورهای استاندارد و موتورهای دارای راندمان انرژی بالا با ۷/۵ کیلووات مصرف انرژی

در بار کامل این صرفه‌جویی‌ها برای موتور ۳ کیلوواتی ۳/۳٪، برای موتور ۷/۵ کیلوواتی ۶٪ و برای موتور ۲۲ کیلوواتی ۴/۵٪ بوده همچنین صرفه‌جویی‌های حاصله توسط سه موتور با راندمان بالا (شکل ۱۳) نشان می‌دهد که میزان صرفه‌جویی‌ها در بارگذاری‌های

مختلف در موتورهای ۷/۵ و ۲۲ کیلوواتی متغیر بود لیکن در موتور ۳ کیلو واتی تقریباً ثابت باقی ماند.

شکل ۱۴ - مصرف قدرت راکتیو در موتورهای استاندارد و موتورهای با راندمان انرژی بالا

شکل ۱۴- مصرف قدرت راکتیو موتورهای ۷/۵ کیلوواتی را نشان میدهد. دیگر بار، برتری موتور "با راندمان انرژی بالا" آشکار است. تنها موردی که در آن توان راکتیو جهت طراحی راندمان بالا بیش از موتور استاندارد معادل آن بود، مربوط به وقتی است که موتور ۳ کیلوواتی در بارهای بالا کار می‌کند، این امر در اطلاعات مندرج در گواهی‌های آزمون تولید کننده نیز ذکر شده بود.

«مثالی از "برگشت هزینه" در موتور ۷/۵ کیلوواتی "با راندمان انرژی بالا"»

با استفاده از شکل (۱۲) ارزیابی مقدار صرفه‌جویی انرژی حاصله با موتوری که دارای راندمان بالا است امکان‌پذیر می‌گردد. میزان صرفه‌جویی در بار کامل تقریباً ۰/۴۵ کیلووات

است که با قیمت ۵ پوند بر کیلووات ساعت، به اندازه ۲/۲۵ پوند در ساعت می‌ارزد. این مبلغ معادل ۰.۶٪ هزینه کارکرد موتور است.

قیمت یک موتور استاندارد ۷/۵ کیلوواتی ۲۲۶ پوند است، در حالیکه موتور با بازده بالای معادل آن ۳۳۰ پوند می‌باشد، یعنی ۱۰۴ پوند تفاوت قیمت وجود دارد. طبق جدول ۱، مدت زمان لازم برای برگشت هزینه در موتورهای دارای "راندمان انرژی" بر اساس هزینه جنبی، تقریباً ۵۰۰۰ ساعت، ۶/۸ ماه کار مداوم با بار اسمی است. در بارهای کمتر مدت دوره برگشت هزینه اندکی طولانی‌تر خواهد بود.

جدول ۱- صرفه‌جویی‌های موتور ۷/۵ کیلوواتی با بازده بالا بعنوان تابعی از کاربرد.

کاربری (بر حسب ساعت)	صرفه‌جویی (بر حسب پوند)
۲۰۰۰	۴۵
۴۰۰۰	۹۰
۶۰۰۰	۱۳۵
۸۰۰۰	۱۸۰

بنابراین وقتی یک موتور جدید و یا جایگزین موردنیاز است، موتورهای با بازده بالا بی‌نهایت جالب هستند. صرف کاهش هزینه انرژی، در شرایط فعلی، جایگزین موتورهای موجود با موتورهای دارای راندمان بالا را توجیه نمی‌کند. قیمت موتور کامل به علاوه هزینه نصب آن، به قدری است که برای برگرداندن هزینه بیش از دو سال وقت لازم است. حتی اگر موتور به طور مداوم کار کند. تعدادی از تولیدکنندگان، موتورهای "با راندمان بالا" را عرضه می‌کنند با وجود این لزوماً بازاریابی آنها تحت این عنوان صورت نمی‌گیرد در هنگام انتخاب یک موتور جدید دانستن جزئیات فنی درباره کارآئی موتور در سرتاسر طیف بار کامل مهم است. اهمیت این امر از این روی است که موتورها به طور میانگین با ظرفیت ۶۰٪ و ۸۰٪ بار اسمی شان کار می‌کنند. همچنین عاقلانه است که نسخه‌هایی از گواهی‌های آزمون تولیدکننده درباره "نوع موتور" را که داده‌ها و اطلاعات کامل کارآئی را نشان می‌دهد، به دست می‌آورد. محاسبه‌ای از هزینه‌های عملیاتی نسبی در موتورهای استاندارد و موتورهای با بازده بالا در ضمیمه شماره ۳ ارائه شده است، در نمونه بررسی شده، برگشت هزینه ۱/۲ سال بطول می‌انجامد.

در برخی از موارد کاربرد لازم است که موتوری بمدت زیادی در بارهای کم کار کند، مثلاً در نقاله‌ها، راهروهای متحرک پرسکاری‌ها و غیره. تحت چنین شرایطی راندمان موتور افت می‌کند چون تلفات آهنی مربوط به ولتاژ زیاد می‌شوند. برخی اوقات کنترل کننده موتور که به کنترل کننده ولتاژ معروف است، افت راندمان موتور را کاهش می‌دهد. این عمل وقتی رخ می‌دهد که بار زیر ۵۰٪ مقدار اسمی باشد با تنظیم ولتاژ سر ترمینال‌های موتور کاری می‌کنند که درست نیروهای مغناطیس کننده کافی را برای فائق آمدن بر تقاضای بار لازم، تولید کند. بنابراین مطابق با آن کاهش در تلفات آهنی بدست می‌آید و راندمان و ضریب قدرت اصلاح می‌شود.

بعلافت ولتاژ در سرتاسر "تریستورهای" که در کنترل کننده‌های موتور بکار رفته این کنترل کننده‌های موتور قدرت را جذب می‌کنند. این امر در بارهای بالا می‌تواند منجر به جریمه اندکی بابت هزینه عملیاتی شود و بنابراین شناخت "زمان کارکرد" برای انجام تجزیه و تحلیل کامل از هزینه و منافع اهمیت دارد.

معمولاً کنترل کننده‌های موتور دارای قابلیت‌های "راه‌اندازی نرم" می‌باشند که به طور تصاعدی در خلال دوره راه‌اندازی ولتاژ اعمال شده به ترمینال‌ها موتور را تنظیم و تعدیل می‌کند، بنابراین شدت جریان ناگهانی را به حداقل می‌رساند و کنترل حساسی را بر موتور اعمال می‌کند. همچنین راه‌اندازی نرم تنش‌های مکانیکی را در سیم‌پیچی‌های موتور و تجهیزات خارجی آن تقلیل می‌دهد. توصیه می‌شود که اگر "راه‌اندازی نرمی" را می‌خرید، کنترل کننده‌ای را نیز بایستی مورد ملاحظه قرار دهید، زیرا هزینه اضافی آن چندان قابل توجه نیست.

آزمون‌های مستقل کنترل کننده‌های موتور

تحت EEO از طرف Surrey تعدادی از کنترل کننده‌های موتور به وسیله دانشگاه "فیرفورد" (مدل فیرفورد)، (Fair ford) آزمایش قرار گرفتند. این کنترل کننده‌ها از (تهیه شدند. مواردی از این NASA (مدل condor) و unsworth (مدل AECON) داده‌های آزمون که انتخاب شده‌اند در شکل ۱۵ نشان داده شده است. شکل ۱۵ راه‌اندازی و Fairford ضریب قدرت را به تنهایی برای موتور ۷/۵ کیلوواتی استاندارد و با کنترل کننده ۷۵ مقایسه می‌کند. می‌توان دید که این کنترل کننده در بارهای کم موتور هم Fairford FEL/E راندمان و هم ضریب قدرت را اصلاح می‌کند. دو مدل دیگر کنترل کننده نیز به این موتور عمل کرد، در حالیکه Fairford به طریقی مشابه با مدل Unsworth متصل شدند. مدل

بخاطر تنزل کم ولتاژ در بارهای کم صرفه‌جویی‌های کمتری ارائه **Condor NASA** نوع نمود. تفاوت کمی از لحاظ صرفه‌جویی‌های برق قدرت راکتیو بین انواع کنترل‌کننده‌ها وجود داشت. (شکل ۱۶)

شکل ۱۶ - مصرف برق قدرت راکتیو موتور استاندارد ۷/۵ کیلوواتی که کارائی مشابه با سه کنترل‌کننده را نشان می‌دهد

در شکل ۱۷- صرفه‌جویی انرژی حاصله از یک موتور ۳ کیلو وات، ۷/۵ کیلووات، و ۲۲ کیلووات، همراه با یک کنترل‌کننده موتور نشان داده شده است. که منافع حاصله در شرایط بار کم و جریمه کم از را در بار کامل یا نزدیک به بار کامل نشان می‌دهد. تمام موتورها و ترکیبات موتور / کنترل‌کننده قابلیت تحویل قدرت خروجی اسمی را داشتند.

آزمون‌های بار دوره‌ای

درباره عملکرد دوره‌ای موتورهای استاندارد با کنترل Surrey همچنین در دانشگاه
کننده‌ها و بدون کنترل کننده‌ها کار تحقیقاتی انجام شد. جدول ۲ صرفه‌جویی‌های انرژی
نشان می‌دهد. KVar و kwh حاصله را بر حسب
مورد بررسی فرار (duty cycles) دو نوع از طرز بارگذاری یعنی زمان‌های کارکرد
گرفتند:

- زمان کارکرد: ۲ دقیقه در بار ۱۰۰٪، ۱۰ دقیقه در بار ۱۰٪، با ۵ مرتبه تکرار.
- زمان کارکرد: ۴: ۱۰ دقیقه در بار ۱۰۰٪، ۵۰ دقیقه در بار ۱۰٪.

صرفه‌جویی‌های قدرت راکتیو (جدول ۲) به طور مهم و معنی‌داری بالاتر از
صرفه‌جویی‌های بدست آمده جهت توان حقیقی بوده، که اصلاح ضریب قدرت را نشان
می‌دهد که خود حاصل بهبود تطابق بار است در مورد موتور ۳ کیلوواتی صرفه‌جویی در
توان حقیقی نیز مهم بود.

جدول ۲ - نتایج دوره‌ای بار که نشان دهنده میزان صرفه‌جویی KVar, Kwh

هنگام استفاده از کنترل کننده موتور در موتورهای استاندارد است

کنترل کننده	زمان کار کرد Duty cycle	اندازه موتور (kw)	صرفه‌جویی‌ها در موتورهای فاقد کنترل کننده			
			Kwh	%	KVar	%
Fairford ۴FEL/E	۱ ۲	۳	۰/۱۷ ۰/۱۸	۱۶/۲ ۱۶/۵	۱/۲۶ ۱/۲۷	۴۲/۶ ۴۲/۹
Fairford ۷/۵FEL/E	۱ ۲	۷/۵	۰/۲۱ ۰/۱۰	۶/۵ ۳/۲	۱/۰۲ ۰/۹۹	۱۵/۹ ۱۵/۸
AECON ۱۰AOPC	۱ ۲	۷/۵	۰/۲۴ ۰/۱۴	۷/۴ ۴/۴	۱/۹۸ ۱/۷۸	۳۰/۹ ۲۸/۴
Fairford ۲۲FEL/E	۱ ۲	۲۲	۰/۳۸ ۰/۴۵	۵/۰ ۵/۹	۵/۱۲ ۵/۸۲	۳۳/۰ ۳۶/۹

نمودار درختی تصمیم‌گیری

در شکل ۱۸- یک نمودار درختی را برای روش انتخاب یک موتور دور ثابت نشان داده‌ایم.

شکل ۱۸ - نمودار درختی تصمیم‌گیری برای روند انتخاب در مورد موتورهای با دور ثابت

وقتی که موتوری دارای زمان کارکرد بالا است (یعنی وقتی که در اکثر زمانها با بار کامل یا نزدیک آن کار می‌کند) استفاده از یک موتور با بازده بالا توصیه می‌شود. بهر حال، احتمال دارد که وقتی نیاز به جایگزینی و تعویض موتور باشد این کار بیش از هر کار دیگر

بر هزینه‌ها تاثیر بگذارد. همیشه برای یک سیستم جدید، موتوری با راندمان بالا را بایستی مورد ملاحظه قرار داد.

اگر بار ثابت بوده و به میزان قابل توجهی کمتر از خروجی اسمی موتور باشد، موتور کوچکتر می‌تواند مناسب باشد. در این حالت یک موتور با راندمان بالا را باید در نظر آورد. در مواردیکه بار موتور تغییر می‌کند و مکرراً کمتر از ۵۰٪ بار اسمی است، اضافه کردن یک کنترل کننده موتور می‌تواند از لحاظ هزینه موثر باشد. باز اینکار موتور را قادر خواهد کرد که بار اسمی‌اش را که شاید در بخشی از زمان کارکرد لازم باشد، ارائه دهد.

۸-۳- سیستم‌های با سرعت متغیر

هدف همه سیستم‌های دور متغیر این است ماشین امکان کارکردن در سرعتی را که به سرعت مطلوب نزدیک‌تر است و با موتورهای دارای دور ثابت قابل دستیابی نیست، پیدا کند.

سیستم‌های دور متغیر به سه دسته تقسیم می‌شوند؛ محرکه‌های دور متغیر (ها)، موتورهای دور متغیر و سیستم‌های دور متغیر الکترومکانیکی. هر VSD الکترونیکی (یک از این موارد، تقسیمات فرعی نیز دارند. (شکل ۱۹)

شکل ۱۹ - موارد انتخاب دور متغیر

سیستم‌های دور متغیر به دلایل صرفه‌جویی در انرژی نصب نشده‌اند بلکه برای رفع حواجی فرآیند یا نیازهای محیطی بکار گرفته شدند. در نتیجه، درجه پیچیدگی آنها متناسب با شرایط فرآیند تعیین می‌شد و معمولاً مستلزم آن بود که سرعت ویژه مورد نیاز از قبل انتخاب شده و از میان طیف موجود با دست کنترل می‌شد.

امروزه مواردی اختیاری زیادی وجود دارد و به کمک الکترونیک مدرن با هزینه بالای برق تغییراتی در موارد انتخاب بوجود آمده است. اکنون به قیمت نسبتاً کمی می‌توان دور بمراتب و تغییرات ثابتی از سرعت رابدست آورد، که به طور عمده توسط درجه و قابلیت انعطاف لازمه سیستم تعیین می‌شود.

اکنون امکان بالقوه سیستم‌های متنوع با تأکیدهای مخصوص بر آن دسته که جهت تعویض ادوات کهنه با ادوات جدید مفید است، ملاحظه می‌شود.

(ها) VSD-۸-۳-۱ - محرکه‌های دور متغیر الکترونیکی)

ها با تبدیل یک منبع برق غیرقابل تنظیم به منبع برق متغیر کار VSD به طور کلی می‌کنند. معمولاً ادوات الکترونیکی ولتاژ اصلی جریان متناوب را تبدیل به ولتاژ متغیر جریان مستقیم می‌کنند که بعد معکوس شده و تبدیل به برق جریان متناوب با فرکانس متغیر و ولتاژ متغیر می‌شود (برخی از موتورهای جریان متناوب را می‌توان تنها با تغییر دادن ولتاژ کنترل نمود).

عمل نماید، باید پس‌خوران^۱ از یک پارامتر اندازه‌گیری شده به VSD برای اینکه یک وارد شود. این پارامتر می‌تواند هر متغیر مهمی باشد به شرط VSD درون مدار کنترل آنکه حسگری موجود باشد تا نسبت به این تغییرات واکنش نشان دهد.

^۱ - feedback

ها می‌توانند از نظر فشار، درجه حرارت، سرعت، میزان و مقدار جریان VSD مثلاً حجمی، قدرت، یا ترکیبی از اینها مورد کنترل قرار گیرند. انتخاب هر کدام از این عوامل ها دارد. VSD بستگی به منطق کنترل

که در آن سرعت پمپ جهت ثابت نگهداشتن VSD شکل ۲۰- یک مورد کاربردی فشار تخلیه صرف‌نظر از مقدار تقاضای مصرف کننده تغییر می‌کند، را نشان می‌دهد.

VSD شکل ۲۰ - فشار تخلیه پمپ کنترل‌کننده

برخی از آخرین تجهیزات از منطق قابل برنامه‌ریزی مصرف کننده و یا نرم‌افزار پیچیده استفاده می‌کنند که مدل‌های غامض ریاضی را قادر به بهینه‌سازی مصرف انرژی و یا سایر فاکتورهای مهم می‌نمایند.

ها علی‌الخصوص در مواردی جالب است که مدولاسیون جریان لازم باشد. VSD مثال‌های آن که با تفصیل بیشتری در بخش (۹) مورد بحث قرار گرفته شامل پمپ‌ها، ها همچنین در مواردی است که در VSD بادبزن‌ها، کمپرسورهای هوا و تبرید است. کاربرد

¹ - Sensor

بخش دوم / امکانات فنی اجرای کار و صرفه‌جویی در هزینه

سرتاسر یک محدوده سرعت، توان یا گشت‌آور ثابتی لازم باشد. هرزگرد ماشین افزار ثابتی را لازم دارد در حالیکه پرسکاری‌ها گشت‌آور ثابتی می‌خواهند.

”ها VSD موتورها مناسب برای کنترل ”

را که می‌توان مورد استفاده قرار داد به نوع موتور نصب شده بستگی VSD نوع دارد. دو نوع اصلی در موتورهای جریان متناوب وجود دارند، موتورهای آسنکرون و های الکترونیکی کنترل نمود. معیارهای VSD سنکرون. هر دوی این موتورها را می‌توان با عبارتند از: موتور در کاربرد کنونی اش VSD عمده در ارزیابی مفید بودن یک موتور جهت بیش از اندازه گرم نمی‌شود زیرا تهویه هوای درون آن در سرعت‌ها و دورهای پائین‌تر در موتور ایجاد می‌شود؛ اگر VSD نقصان یافته و حرارت بیشتری در نتیجه نصب یک افزایش در مقدار دور یا سرعت پیش‌بینی می‌شود، موتور و قطعات متحرک آن از قبیل قرقره‌ها، تسمه‌ها، چرخ‌دنده‌ها و غیره بایستی تحمل نیروهای گریز از مرکز زیاد حاصل از سرعت‌های دورانی بالا را داشته باشند؛ همچنین ممکن است در سرعت‌های بالاتر (بارگذاری) بار موتور افزایش یافته و حداکثر سرعت ممکنه را محدود کند (وقتی که در وهله اول سرعت افزایش می‌یابد این امر بایستی به دقت بررسی و ثبت گردد).

انواع محرکه‌های دور متغیر جریان متناوب

اساساً سه نوع ”اینورتر” (معکوس کننده جریان) وجود دارد که عبارتند از:

- معکوس کننده یا ”اینورتر” منبع ولتاژ با تلفیق پهنای پالس
- معکوس کننده یا ”اینورتر” منبع ولتاژ ۶ مرحله‌ای
- معکوس کننده یا ”اینورتر” منبع شدت جریان ۶ مرحله‌ای

تمام اینها را می‌توان در موتورهای موجود نصب کرد، لیکن علی‌الخصوص در مورد معکوس کننده‌های ۶ مرحله‌ای مقداری خروج از (بار یا توان اسمی) برای موتور لازم است (حداکثر تا ۱۰٪)

امکان کنترل و پائین آمدن سرعت را تا حد صفر و بالا PWM معکوس کننده‌های ولتاژ بردن سرعت را تا سه / چهار برابر سرعت عادی سنکرون فراهم می‌کنند. ضریب قدرت شدت جریان برق معمولاً زیاد است و نسبتاً در تمام محدوده سرعت ثابت می‌باشد. چون شکل ”موج خروجی” نزدیک به ”موج سینوسی خالص” است، بخاطر (موج‌های) هارمونیک شده VSD چند مسئله معدودی درباره این موتور وجود دارد. امروزه این آشناترین فرم است.

مزایا

- بازدهی بالا
- کنترل خوب در محدوده سرعت از جمله سرعت‌های پائین
- ضریب قدرت بالا
- (موج‌های) هارمونیک فرکانس پائین مشکلی ایجاد نمی‌کنند
- کار با چند موتور امکان پذیر است
- حداکثر ولتاژ خروجی برابر ولتاژ خط است
- حوزه نوآوری بالا مثلاً، محرکه‌های برداری
- می‌توان در صورت نقص VSD وسیله‌ای فرعی را (از پیش) تعبیه کرد.

معایب

- موج‌های هارمونیک فرکانس بالا می‌تواند در این ماشین‌ها باعث سر و صدا شوند. (این نکته را از تولید کننده بپرسید).
 - ادوات الکترونیکی پیچیده فرکانس بالا در هنگام وصل کردن می‌تواند قابلیت اعتماد آن‌ها را تحت تاثیر قرار دهد.
- معکوس کننده‌های منبع ولتاژ ۶ مرحله‌ای به خوبی تأیید شده‌اند و برای سرعت‌های بین یک و دو برابر سرعت‌هائی که صرفاً و به تنهایی از فرکانس استاندارد برق اصلی بکار افتاده‌اند مورد استفاده واقع می‌شوند. بهر حال وقتی که سرعت موتور کاهش یابد ضریب قدرت نیز به تبع آن کاهش می‌یابد. شکل موجی جریان متناوب با فرکانس متغیر تولید شده، از شبیه‌سازی پلکانی ۶ مرحله‌ای ولتاژ حاصل می‌شود.

مزایا:

- بازدهی بالا
- کار با چند موتور
- نوع معکوس کننده (اینورتر) کاملاً مورد تأیید است.
- در مواقع نقص VSD می‌توان از ادوات فرعی استفاده کرد.

معایب:

- می‌تواند ضریب قدرت کمی داشته باشد.
 - می‌تواند گشت‌آورهای ضربه‌ای را در فرکانس‌های پائین به "روتور" وارد کند.
 - کارآئی ضعیف در سرعت پائین
- معکوس کننده‌ها یا "اینورترهای" منبع جریان ۶ مرحله‌ای بر اساس اصول ۶ مرحله‌ای که به شدت جریان اعمال می‌شود بکار می‌افتند. معمولاً محدوده سرعت به ۲۰٪-۱۰۰٪ سرعت حاصله از فرکانس برق اصلی محدود می‌شود. وقتی که این نوع کنترل کننده را به یک موتور موجود اعمال می‌کنند لازم است که بخاطر موج‌های هارمونیک و ولتاژهای بیش از حد و گذرا احتیاط کنند. شدت جریان‌های خط که وارد موتور می‌شوند حاوی موج‌های هارمونیک هستند که مخصوصاً در سرعت‌های کم ممکن است حرارت تولید کنند و بنابراین لازم است آن را از میزان بار اسمی خارج کنیم. بیش از حد شاید به عایق فرسوده "استاتور" فشار آورد که در آن حالت بایستی شبکه‌های مناسبی برای پراکنده‌سازی موج‌های ضربه‌ای نصب گردد. در سرعت‌های کمتر از ۵۰٪ سرعت‌هایی که توسط فرکانس برق اصلی ایجاد می‌شود، با ضریب قدرت موتور ضعیف است.

مزایا:

- نیرومندی الکتریکی
- نوع خوب تأیید شده "اینورتر" (معکوس کننده)
- مدار ساده
- ترمز تجدید شونده (باز یافتنی)
- وقتی VSD دچار نقص شود می‌توان از ادوات فرعی استفاده نمود (bypass)

معایب :

- ایجاد پالس‌ها و ضربه‌های مربوط به گشت‌آور در سرعت‌های پائین
- گشت‌آور کم در حال راه‌اندازی
- ضریب قدرت کم
- کنترل چند ماشینی آنقدر هم آسان نیست.
- پاسخ بازتاب ملایم
- برای اجتناب از حداکثر ولتاژ، تطابق دقیق موتور و محرک ضروری است.

اینورتر "یا معکوس کننده انتخاب"

نوع محرک دور متغیر انتخاب شده، خواه موتور آسنکرون باشد یا سنکرون، بایستی با موتور هماهنگ باشد.

مناسب به عوامل زیادی بستگی دارد که به سادگی نمی‌توان در یک VSD انتخاب نمودار درختی تصمیم‌گیری ارائه نمود.

انتخاب مقدماتی را می‌توان با توجه به مزایای نسبی فوق‌الذکر انجام داد. ممکن است قابلیت تعویض محرک (با ادوات جدید) اهمیت داشته باشد، همانطور که کارهای چند موتوره این طور است. اگر کارآئی در سرعت پایین مهم است، برخی از "اینورتر" (معکوس کننده‌ها) را بایستی از دور خارج کرد.

ثانیاً بایستی با تهیه کنندگان تماس گرفته و قیمت‌ها را مقایسه کرد. راهنمایی درباره بهای "اینورتر" در ضمیمه شماره (۴) داده شده است. بایستی از تهیه کنندگان خواست که هر تأسیساتی از تجهیزاتشان را که مشابه تأسیسات خواسته شده است تعیین کنند. VSD قاعده‌تاً ابتدا بایستی بر روی تهیه کنندگانی متمرکز گردید که در محدوده‌ای از انواع کار می‌کنند.

داده‌های دیگری درباره انتخاب محرک در بخش (۹) ارائه شده است.

۸-۳-۲- موتورهای دور متغیر

موتورهای جریان متناوب دو سرعت

اینها ساده‌ترین شکل موتور دور متغیر هستند که احتمال دارد، با آنها مواجه شویم و انتخاب آنها با فراهم کردن هزینه کم میسر است. به طور عادی این موتور برای کار ۲ قطبی و ۴ قطبی با اتصال‌های نهائی برای هر دو شکل از موتور سیم‌پیچی شده است.

کارآئی آن در هر دو سرعت مثل کارآئی موتور تک سرعتی که در آن سرعت کار می‌کند می‌باشد.

موتورهای کموتاتوری سه فاز – جریان متناوب

موتورهای کموتاتوری در محدوده‌ای از قدرت چند کیلووات تا ۱۵۰ کیلووات وجود دارند و زمانیکه دقت در کنترل سرعت لازم نیست مفید می‌باشند. آنها جاروبک‌هایی دارند که این موتورها را تا جایی که به نگهداری آنها مربوط است در طبقه‌بندی ماشین‌های جریان مستقیم (که بعداً مورد بحث قرار خواهد گرفت) قرار می‌دهد.

مزایا:

- سادگی و قابلیت اعتماد
- تأثیر ناچیز بر برق اصلی
- بهای نسبتاً ارزان کل سیستم

معایب:

- موتور شاید گران‌بها باشد.
- حداکثر راندمان ۸۵٪.
- احتیاج به تعمیرات دنده جاروبک دارد.
- وقتی VSD دچار نقص شود، نمی‌توان از وسیله‌ای فرعی استفاده کرد (bypass)

موتورهای القائی بهسازی شده^۱

در یک موتور القائی بهسازی شده کنترل ولتاژ فقط به وسیله برخی از سازندگان ارائه شده است. هزینه این کار کمتر از هزینه موتور استاندارد القائی بعلاوه "اینورتر" (معکوس کننده) است، لیکن راندمان سرعت کم آن ضعیف بوده و تنها در مواردیکه به طور کلی سرعت‌هایی بیش از ۵۰٪ سرعت اسمی آن انتظار می‌رود کاربرد آن بایستی مورد ملاحظه قرار گیرد.

آخرین فن‌آوری موتورهای رلوکتانسی سیستم‌های محرکه

¹ - Modified

موتورهای متغیر رلکتانسی از اصلی‌ترین انواع استپ موتور می‌باشد که روتور آن دارای سیم‌پیچی نیست. این موتور با اصل جاذبه مغناطیسی کار می‌کند، شدت جریان دور قطب‌های استاتور برقرار می‌شود و "روتور" به سمت قطب‌های استاتور که شدت جریان را حمل می‌کنند جذب می‌شود. این امر منجر به چند مزیت عمده نسبت به سایر سیستم‌های می‌شود. VSD.

مزایا:

- راندمان بالا
- موتور ساده ولی زمخت و کنترل آسان
- ادوات الکترونیکی ساده
- اگر یکی از فازها از بین برود دچار نقص نمی‌شود.
- محدوده سرعت زیاد
- دقت بالا از نظر کنترل سرعت
- پاسخ سریع

معایب:

- در موقع نقص نمی‌توان از وسیله فرعی (bypass) استفاده نمود.
- ایجاد پالس (یا ضربه) ممکن است باعث سر و صدا شود.
- هنوز در همه جا مورد استفاده نیست.

موتور و سیستم‌های محرکه جریان مستقیم

علی‌رغم پیشرفت حاصل از سیستم‌های مبتنی بر اینورتر جریان متناوب محرک است. بسیاری از تهیه VSD جریان مستقیم با کنترل "تریستور" معمولی‌ترین سیستم کنندگان عمده تجهیزات جریان متناوب و جریان مستقیم هنوز در حال سرمایه‌گذاری در سیستم‌های جریان مستقیم هستند.

مزایا:

- محدوده کنترل ۰-۱۰۰٪
- محدود وسیع توان (از ۱ کیلووات تا ۱۰۰۰۰ کیلووات)

- دقت زیاد در کنترل سرعت
- سیستم‌های جریان مستقیم می‌توانند در قدرت‌های بالا (بالتر از ۳۰۰ کیلووات) ارزان‌تر از سیستم‌های "اینورتر" جریان متناوب باشند.

معایب:

- هزینه‌های نگهداری آن بیشتر از سیستم‌های جریان متناوب است.
- محرک را نمی‌توان در صورت نقص به ادوات فرعی (bypass) متصل نمود.
- ممکن است اثرات هارمونیک بالایی بر برق اصلی داشته باشد.
- جرقه‌هایی که در کموتاتور ایجاد می‌شود شاید خطر آتش‌سوزی در برداشته باشد.

۸-۳-۳- محرکه‌های الکترومکانیکی

در این طبقه‌بندی سه نوع محرکه وجود دارد، تغییر دهنده‌های مکانیکی، کوپلینگ‌های هیدرولیکی و کوپلینگ‌های "جریان گردابی"^۱

تغییر دهنده‌های مکانیکی: دارای دو نوع هستند: آنهایی که تسمه‌های ذوزنقه‌ای را بکار می‌برند (برای قدرت‌های پائین‌تر، که به طور نمونه حداکثر تا ۲۵ کیلووات است) و آنهایی که از زنجیرهای فولادی استفاده می‌کنند. محدوده وسیعی از سرعت‌ها را می‌توان در ترکیب با چرخ دنده‌ها بدست آورد. بازده محرکه تنها در حدود ۹۰٪ است (با صرف نظر از راندمان موتور) تنظیم دستی سرعت معمولی است اما تنظیم خودکار هم قابل دسترسی است. محدودیت اصلی این است که گشت‌آور موجود به طور معکوس با سرعت متناسب است.

کوپلینگ‌های هیدرولیک: اینها معمولاً برای انتقال گشت‌آور از موتور به تجهیزاتی که بکار می‌افتند، از دیسک‌هایی استفاده می‌کنند. کنترل سرعت بوسیله تغییر دادن میزان لغزش بین دیسک‌ها عملی می‌گردد که در این صورت با کاهش سرعت میزان اتلاف افزایش می‌یابد. بهر حال راندمان آن بالاتر از بازده تغییر دهنده‌های مکانیکی است.

: اینها از لحاظ بازده در حد واسط بین دو (eddy current) کوپلینگ‌های جریان گردابی نوع دیگر قرار می‌گیرند. در سرعت‌های پائین دارای مشخصه‌های خوبی از لحاظ گشت‌آور هستند و معمولاً بین تغییر دهنده‌های کوپلینگ‌های هیدرولیک موج‌های هارمونیک ایجاد

^۱ - Eddy Current

بخش دوم / امکانات فنی اجرای کار و صرفه‌جویی در هزینه

نمی‌کنند. همچنین عمر طولانی و قابلیت اعتماد بالا عوامل مثبت آن است. عیب عمده آن بازده کم در سرعت‌های پائین است.

۸-۳-۴- راندمان محرکه

راندمان یک محرکه به عوامل زیر بستگی دارد: نوع محرکه، سرعت، بار، و اندازه موتور.

در موقع انتخاب یک محرکه بایستی این عوامل را در نظر داشت.

در مواردیکه کنترل سرعت تصریح شده باشد، شکل و مقطع کار بر انتخاب نوع تأثیر می‌گذارد. اگر کارکردی ما بین ۵۰٪ و ۷۵٪ سرعت طراحی شده برای VSD سیستم پیشرفت مدت زمان پیش بینی می‌شود، در این صورت اکثر سیستم‌ها، به استثنای راندمان‌های حرکتی خوبی می‌دهند. بازده (eddy current) کوپلینگ "جریان گردابی کوپلینگ‌های" جریان گردابی" با کاهش سرعت سریعاً افت پیدا می‌کند (جدول ۳).

وقتی که احتمال دارد زمان کارکرد در ۵۰٪ سرعت طراحی شده یا کمتر از آن طولانی‌تر شود، نیز بایستی موتور جریان مستقیم با کنترل سرعت را در نظر گرفت. این امر علی‌الخصوص درباره موتورهای که دارای ظرفیت زیاد هستند صادق است.

بخش دوم / امکانات فنی اجرای کار و صرفه‌جویی در هزینه

جدول ۳- کارائی سیستم‌های گوناگون برای سرعت‌ها و اندازه‌های مختلف موتور

موتور / کنترل کننده	اندازه موتور (dw)	سرعت			
		%۱۰۰	%۷۵	%۵۰	%۲۵
موتور القائی جریان متناوب با کنترل فرکانس	۵	۸۰	۷۰	۵۵	-
	۱۵	۸۵	۷۵	۶۰	۵۰
	۳۰	۸۵	۷۵	۶۱	-
	۱۵۰	۸۸	۸۲	۶۲	-
موتور جریان متناوب با کوپلینگ "جریان گردابی"	۵	-	-	-	-
	۱۵	۸۲	۶۰	۴۰	۲۰
	۳۰	۸۲	۶۰	۴۰	-
	۱۵۰	۸۴	۶۰	۴۰	-
موتور جریان مستقیم با کنترل سرعت	۵	۸۰	۷۵	۶۰	-
	۱۵	۸۴	۸۱	۷۰	۷۰
	۳۰	۸۵	۸۲	۷۰	-
	۱۵	۹۰	۹۰	۸۹	-
موتور کموتاتوری جریان متناوب (سه فاز)	۵	-	-	-	-
	۱۵	-	-	-	-
	۳۰	۸۰	۷۰	۵۵	-
	۱۵۰	۸۵	۷۵	۶۰	-

(تمام ارقام تقریبی هستند)

بخش دوم / امکانات فنی اجرای کار و صرفه‌جویی در هزینه

ها VSD ۸-۳-۵- خلاصه

های گوناگون و موجود را خلاصه می‌کند. VSD جدول ۴-۴

جدول ۴-۴ مقایسه محرک‌های دور متغیر

محرک	مزایا	معایب	محدوده سرعت معمولی	دقت سرعت	پاسخ به تغییر سرعت / بار	موارد کاربرد
اینورتر تر مدلاسیون با عرض پالس (PWM)	ضریب توان بالا- محدوده زیاد سرعت بدون دنده جاروبک می‌توان از ادوات فرعی bypass استفاده کرد	سرعت حداکثر محدود در محرک‌های بزرگ	۲۰:۱	± ۱%	خوب	تنظیم سرعت با محدوده زیاد محیط خطرناک
اینورتر تر مدلاسیون و عرض پالس با کنترل برداری	ضریب قدرت بالا محدوده سرعت زیاد بدون دنده جاروبک امکان سرعت kw ثابت وسیع می‌توان از (bypass) استفاده کرد	تجهیزات دیگری برای برگشت به برق اصلی مورد نیاز است	۲۰۰:۱	± ۱%	عالی	تنظیم سرعت با محدوده خیلی زیاد دقت بالای کنترل محیط‌های خطرناک فیدبک خصیصه‌های آخرین طراحی جهت مشخصات موتور
اینورتر ۶ مرحله‌ای شبه مربع انواع ولتاژ و شدت جریان	می‌تواند در سرعت‌های بالا بدون دنده جاروبک می‌توان از ادوات فرعی یا (bypass) استفاده کرد	موتور در سرعت کم پالس تولید می‌کند معمولاً ضریب قدرت سرعت کم می‌شود	۱۰:۱ کمتر از ۵	± ۱%		محیط‌های خطرناک
موتور القائی قفسه سنجابی دو سرعت	ساده	نسبت ثابت سرعت	۲:۱	٪۵	ضعیف	برای سرعت‌های ثابت بسیار
موتور القائی قفسه سنجابی دو سرعت	نسبتاً ساده	دنده جاروبک پاسخ آهسته، (bypass)	۲:۱	٪۵	ضعیف	میزان تنظیم سرعت، پاسخ‌گذا، و

بخش دوم / امکانات فنی اجرای کار و صرفه‌جویی در هزینه

		ممکن نیست				نگهداری امر دشواری است
--	--	-----------	--	--	--	------------------------------

بخش دوم / امکانات فنی اجرای کار و صرفه‌جویی در هزینه

کاهش مقطعی سرعت در مقابل گشت‌آور	نسبتاً	۲-۵٪	۲:۱ بالاتر از ۳۰۰	کاهش زیاد بازده به ازای سرعت	موتور نیرومند بدون قطعات متحرک دیگر، نسبتاً با قیمت کم، بدون دنده	ولتاژ متغیر فرکانس ثابت
کاهش گشت‌آور محیط‌های خطرناک			دور در دقیقه		چاروبک و می‌توان از بای پاس (bypass) استفاده کرد.	جریان متناوب (موتور القایی شده) بهسازی شده
تنظیم سرعت با محدوده زیاد	عالی	± ۱٪	۳۰۰:۱	به موتور جدید احتیاج دارد نمی‌توان از بای پاس استفاده کرد محدود بودن اندازه‌ها در حال حاضر	بازده خوب در سرعت‌های پائین. نگهداری آسان بدون دنده چاروبک ادوات ساده الکترونیکی	آخرین تکنولوژی محرکه رلوکتانسی
استارت مجدد تنظیم کم سرعت	ضعیف	۲-۵٪	۲:۱ بالاتر از ۳۰۰ دور در دقیقه	دنده چاروبک کنترل کامل فقط بالای ۵۰٪ بار کاهش زیاد بازده به ازاء سرعت	می‌توان از بای پاس استفاده کرد	تغییرات مقاومت روتور
تنظیم سرعت با محدوده زیاد، دقت کنترل زیاد یا بازیابی سریع نسبت به موارد گذرا	عالی	۰/۱-۱٪	۱۰۰:۱	دنده چاروبک ضریب قدرت با سرعت تنزل می‌یابد. بای پاس ممکن نیست	دقت عالی و قابلیت انعطاف و بازده پاسخ در محدوده وسیع مشکل نیست	تریستور جریان مستقیم
عدم لزوم تغییرات سرعت و مکرر	ضعیف	۵-۱۰٪	۶:۱	پاسخ آهسته دقت کم، بای پاس ممکن نیست	راندمان بالا- ضریب قدرت بالا. با کاهش سرعت گشت‌آور زیاد می‌شود	موتور القایی
راه‌اندازی مجدد و تنظیم کم سرعت (مثلاً)	نسبتاً خوب	۲-٪	تا ۲۰:۱ بالاتر از ۳۰۰ دور	بای پاس ممکن نیست. کاهش زیاد بازده به ازاء سرعت	ضریب قدرت بالا	موتور القایی فکسه سنجایی و کوبلینگ هیدرولیک لغزشی

بخش دوم / امکانات فنی اجرای کار و صرفه‌جویی در هزینه

سوار کردن آزمایشی (قطعات)			در دقیقه			
سیستم زمخت و قابل اعتماد	نسبتاً خوب	۵٪	۲۰:۱	راندمان کم در سرعت پایین	گشت آور خوب در سرعت کم، عمر طولانی	موتور القائی قفسه سنجابی کوبلینگ جریان گردابی (eddycurrent)

۹- موارد کاربرد

در این بخش موارد کاربرد اصلی و اساسی موتورها و محرکه‌ها و کنترل‌های دارای بازده بالا مورد بررسی قرار می‌گیرد. موارد انتخاب موجود مورد تجدید نظر قرار گرفته و عواملی را که بایستی در انتخاب سیستم بهینه بحساب آورد بصورت لیست ارائه می‌کنیم. این بخش بر روی بادبزن‌ها، پمپ‌ها و کمپرسورها (هم کمپرسورهای هوا و هم کمپرسورهای تبرید) متمرکز شده است، ولی به سایر موارد کاربرد از قبیل ماشین‌افزار نیز بی‌توجه نبوده‌ایم.

بادبزن‌ها و پمپ‌ها به عنوان وسایلی که بر کارآئی موتور و محرکه بیش از هر چیز تأثیر می‌گذارند، مورد تأکید قرار گرفته‌اند. در بسیاری از موارد این امر بخاطر آن است که بازار تقاضا تغییر یافته و سیستم‌ها برای جریانهای ملایم‌تر تنظیم می‌شوند. این نوع تنظیم می‌تواند از نظر مصرف انرژی بسیار پرهزینه باشد.

۹-۱ - بادبزن‌ها (فن‌ها)

به ندرت لازم می‌شود که بادبزن‌ها به مدت طولانی در شرایط طراحی شده کار کنند. مثلاً شرایط جوی، بعلاوه احتیاجات فرآیند و تهویه، می‌توانند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نیازهای جریان (هوا در بادبزن) داشته باشند. نمونه‌های زیادی می‌توان ذکر کرد که در آن بادبزن‌ها در شرایطی خارج از محدوده طراحی شده کار می‌کنند. بادبزن مکشی کوره یک دیگ بخار بایستی بر جریان‌های گازی که بصورت تابعی از بار دیگ بخار تغییر می‌کنند (و بنابراین جریان‌های این گاز تابعی از میزان احتراق سوخت می‌شوند) فائق آید. سایر مثال‌ها شامل: بادبزن‌های خشک کن‌ها؛ تجهیزات تهویه ساختمان، از جمله بر سیستم‌های (؛ و برج‌های خنک کننده است که در این مورد درجه حرارت محیط VAV حجم متغیر هوا) و رطوبت آن می‌تواند در میزان تقاضا مؤثر باشد.

نیاز به کنترل میزان جریان در همه جا وجود دارد و روش انتخاب شده ارتباط مهم و معنی‌داری با هزینه‌های کارکرد بادبزن دارد.

مشخصه‌های فن

مجموعه‌ای از قواعد بر کار هر نوع فن حکمفرما است که آنها را « قوانین بادبزن » می‌گویند.

این قوانین می‌گویند که :

- شدت جریان فن متناسب با دور آن است.
- فشار بر حسب مجذور مربع سرعت تغییر می‌کند.
- توان بر حسب مکعب سرعت تغییر می‌کند.

یک فن خصائص فشار / حجم خودش را دارد که وقتی بصورت منحنی رسم شود بعنوان منحنی مشخصه فن نامیده می‌شود.

یک مشخصه نمونه فن بصورت تابعی از فشار و جریان حجمی آن در شکل ۲۱ نشان داده شده است. همچنین نمونه مشخصه سیستم و محل تقاطع آن با مشخصه فن که نقطه کار است نشان داده شده است. اگر حجم هوای لازم همان حجم از پیش طراحی شده نباشد، باید حتماً مشخصه سیستم و فن تغییر یابند. عادی‌ترین راه تغییر دادن نقطه کار که مشخصه سیستم را عوض می‌کند. (damper) عبارتست از استفاده از یک خفه‌کن بهر حال افزایش یا کاهش سرعت دورانی فن نیز می‌تواند موثر باشد چون مشخصه فن را تغییر داده و بنابراین نقطه کار را تغییر خواهد داد.

شکل ۲۱ - نمونه مشخصه یک بادبزن (فن) که نقطه عملکرد را نشان می‌دهد

موارد انتخاب در کنترل فن

در زمان‌های گذشته کنترل فن‌ها رابطه‌ای با کاهش مصرف انرژی نداشت، اما به کنترل کارها و عملیات مربوط بود. در نتیجه هر چند تعدادی از روش‌های کنترل جریان گاز از میان فن وجود دارد، ولی همه آنها از لحاظ انرژی دارای بازده نیستند. اصلی‌ترین کنترل‌ها و آن دسته که بازده‌شان از همه کمتر است (شکل ۲۲) عبارت از تنظیم خفه‌کن در لوله گاز است. محدوده کامل موارد انتخابی در فهرست زیر آمده است:

موتور با دور ثابت

- کنترل خفه کن
- کنترل پره و تیغه راهنما
- کنترل خفه کن دیسکی (فقط بطور سانتریفوژ)
- کنترل گام تیغه بادبزن (فقط بطور محوری)

- خاموش کردن تک‌تک فن‌ها در محل‌هایی که چند فن وجود دارد.
- کنترل‌کننده موتور با دور ثابت.

موتورهای دور متغیر

- موتورهای دو سرعته
- موتورهای دو سرعته که به فن‌های خاموش شونده در محل‌هایی که چند فن وجود دارد متصل شده‌اند.
- موتورهای دو سرعته با کنترل پره راهنما
- موتور جریان مستقیم و کنترل تریستور
- کوبلینگ هیدرولیک یا جریان گردابی (eddy current)
- محرکه دور متغیر جریان متناوب

این سیستم‌ها را می‌توان با درجات مختلف سهولت و تغییر در اجزاء آن دوباره [نصب کرد. اگر موتور جدیدی مورد نیاز باشد، استفاده از یک موتور با راندمان بالا که به [دقت انتخاب شده باید مورد نظر قرار گیرد.

در مورد آن دسته از موارد انتخابی که شامل تعویض و تغییر موتور نمی‌شوند، استفاده از پره‌های راهنمای قابل تنظیم کارآئی بهتری از خفه‌کن‌ها دارد. هر چند که تیغه‌های متغیر از لحاظ گام مشابه و نظیر نوع فن جریان محوری نیستند ولی مشابه‌ها ارائه می‌شوند. بهر حال یک فن جدید مورد VSD بهترین کنترل‌هایی هستند که بوسیله نیاز است. راندمان سیستم کنترل جریان بوسیله خفه کن دیسکی که برای فن‌ها و پروانه‌های سانتریفوژ ابداع شده چیزی بین راندمان پره‌های راهنمای ورودی و روش گام متغیر روی پروانه‌های محوری است.

بهر حال فن یا پروانه جدیدی مورد نیاز است. در مواردیکه چندین فن بطور موازی کار می‌کنند، خاموش کردن تعدادی از آنها هنگام کاهش میزان تقاضا سودمند است. (نگاه کنید به مرجع شماره (۱) جهت کار توأم چند فن و مرجع شماره ۲ جهت سیستم‌های خفه کن دیسکی).

وقتی که آلترناتیوی با دور متغیر انتخاب می‌شود، فرصت‌ها تا حد قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابند. کاربرد موتورهای دو سرعت با امکان بالقوه خاموش کردن‌شان در محل‌هایی که چند فن وجود دارد با هزینه‌های سرمایه‌ای کمی می‌تواند صرفه‌جویی‌هایی را ارائه دهد. بعلاوه موتورهای دو سرعت را می‌توان با کنترل "پره راهنما" ترکیب نمود.

وقتی که کارکرد عمدتاً در بارهای کم می‌باشد، کاربرد کنترل‌کننده‌های موتور دور ثابت را بایستی همراه با روش‌های موثر کنترل جریان آنرودینامیکی ملاحظه کرد. هر چند موتور دو سرعت را بایستی بعنوان آلترناتیو دیگری ملاحظه نمود ولی یک فن با مقطع بار که در شکل (۲۳) نشان داده شده می‌تواند به عنوان یک انتخاب دیگر مورد توجه قرارگیرد.

شکل ۲۳ - مشخصات دوره تناوب عمل / فن که برای کنترل‌کننده موتور مناسب است

انتخاب سیستم بهینه

انتخاب سیستم کنترل جریان بهینه بستگی به نوع فن، مشخصه فن و شکل بار روبرو هستیم، بایستی مفید VSD سالانه و کاری سیستم دارد. در مواردیکه با نصب یک بودن فن در بار لازم جهت کار با سرعت متغیر تأیید شود. اگر فن تأیید نشده باشد بایستی مزایای نسبی سیستم‌های جریان محوری و سانترفوژ آزمایش گردند. بایستی مزایای بازده خارج از شرایط طراحی واحدهای گام متغیر را با جریان محوری، نسبت به همه واحدها به ها به دقت مورد ملاحظه قرار داد. VSD استثناء پیشرفته‌ترین

ها منحنی‌هایی رسم کرده‌اند که میزان ذخیره برقی VSD بعضی از تهیه کنندگان (کیلووات ساعت) را که در عرض یک سال می‌توان صرفه‌جوئی کرد در مقاطع عمده و با امکان انتخابهای فنی نشان می‌دهد. (شکل ۲۴).

شکل ۲۴- بر اساس یک مقطع و منحنی بار عملیاتی قرار گرفته که در آن فن در بیشتر طول عمرش با ۵۰٪ میزان جریان خروجی طراحی شده آن یا کمتر کار می‌کند (نگاه در مقابل کنترل پرده VSD کنید به شکل ۲۳) صرفه‌جوئی سالانه حاصل از استفاده یک راهنمای ورودی در یک موتور فن ۵۰ کیلوواتی کار می‌کند، تقریباً ۱۵۰ (مگاوات ساعت) (خط ۲ در شکل ۲۴) می‌باشد. با قیمت ۵ پوند بر کیلووات ساعت برق این صرفه‌جوئی ۷۵۰۰ پوند در سال ارزش دارد و در نتیجه هزینه‌های مربوط را در مدت یک تا دو سال برگشت می‌دهد.

یک موتور دو ساعته با کنترل پره راهنما، یک انتخاب ملموس دیگر است. (نگاه کنید به مرجع شماره ۱). شکل ۲۵ قیمت‌های نسبی (اطلاعات سال ۱۹۸۶) سیستم‌هایی را که محرک‌های فرکانس متغیر جریان متناوب، موتورهای کموتاتور جریان متناوب، موتورهای جریان مستقیم و کوپلینگ‌های «جریان گردابی» را بکار می‌گیرند، نشان می‌دهد. هزینه اینورتر در نظر گرفته VSD کمتر کوپلینگ «جریان گردابی» بایستی در مقابل بازده بالاتر شود (نگاه کنید به شکل ۲۴).

شکل ۲۵ - بهای نسبی محرک‌های با دور متغیر به عنوان تابعی از توان حرکت
(داده‌های سال ۱۹۸۶)

خلاصه موارد اختیاری

موارد انتخاب اصلی برای کنترل جریان در سیستم‌های فن در شکل (۲۶) نشان داده شده است. عرضه کنندگان سیستم‌های دور متغیر، موتورها و کنترل‌کننده‌های موتور که در ضمیمه شماره (۵) فهرست شده‌اند. سیستم‌هایی که به آسانی ادوات آنها تعویض می‌شود شامل کنترل‌کننده‌های موتور، اینورترها و موتورهای القائی قفسه سنجابی می‌باشند. اگر کنترل جریان لازم نباشد کاربرد موتوری با بازده بالا جهت استفاده از بار زیاد و مداوم توصیه می‌شود.

شکل ۲۶ - موارد انتخاب کنترل فن - خلاصه طبقه‌بندی

۹-۲- پمپها

تنوع کاربرد پمپها بسیار بیشتر از کاربرد فنها است. با این وجود، اصول انتخاب روش کنترل مناسب هم برای پمپها و هم برای فنها بسیار مشابه هستند. این امر خصوصاً هنگامی که روش انتخاب شده، تغییر سرعت باشد واقعیت پیدا می‌کند. پمپها به دو گروه سانتریفوژ و جابجایی مثبت تقسیم می‌گردند. گرچه پمپ سانتریفوژ عمومیت بیشتری دارد و اکثر مطالب ذیل مربوط به این نوع پمپ است.

مشخصات پمپ

پمپها تشابه زیادی با فنها دارند و قوانین حاکم بر عملکرد آنها مشابه است. نمودارهای هد/ جریان و راندمان در یک پمپ سانتریفوژ نمونه که با سرعت ثابت کار می‌کند در شکل (۲۷) نشان داده شده است. نمودار هد / جریان با عنوان نمودار مشخصه پمپ شناخته شده و معمولاً به سرعت و دانسیته قطعی سیالی که پمپ می‌شود مربوط است. نقطه طراحی در این مثال به گونه‌ای انتخاب شده است که راندمان پیشینه در جریان ۱۰۰٪ رخ می‌دهد. تشابه این نمودار با نمودار مربوط به فن (شکل ۲۱) آشکار است.

شکل ۲۷ - نمودارهای هد - جریان و بازده برای یک نمونه پمپ سانتریفوژ تحت شرایط سرعت ثابت
اگر با شروع تغییرات سرعت، مشخصات پمپ مورد بررسی قرار گیرد، روابط پایه که
بر عملکرد آن حاکم است به وضوح ملاحظه می‌شود.

شکل ۲۸ - نمونه مشخصات عملکرد پمپ سانتریفوژ در سرعت متغیر

راندمان پمپ در قسمت‌های بالاتر از محدوده سرعت، کاهش اندکی از خود نشان می‌دهد. ولی چنانچه سرعت به مقداری کمتر از ۶۰٪ مقدار طراحی برسد، بازده به سرعت کاهش می‌یابد با این وجود، با افزایش اندازه پمپ، از شدت کاهش راندمان در نتیجه کاهش سرعت کاسته می‌شود. انرژی مصرفی توسط موتور پمپ در نتیجه نیاز به حرکت درآوردن مایع و در بعضی موارد بالا بردن آن است. بنابراین نقطه کاری روی منحنی پمپ توسط مقاومت لوله در برابر جریان جرم و هر هدر تحویل استاتیک که می‌بایست در صورت به حرکت درآوردن مایع بر آن غلبه شود، تعیین می‌گردد.

عواملی که تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر مقاومت لوله دارند عبارتند از:

- قطر لوله
- ضریب اصطکاک
- وزن مخصوص مایع
- تعداد شیرها و اتصالات دیگر نظیر زانویی‌ها، اتصالات T شکل و ...
- سرعت جریان جرم

کنترل سرعت پمپ (شکل ۲۹) یک روش برای تغییر نقطه طراحی است.

روش‌های مختلف کنترل پمپ

روش‌های موجود در کنترل پمپ‌های سانتریفوژ با روش‌های مربوط به کنترل فن‌ها مشابه هستند.

معمول‌ترین روش اختناق توسط یک سوپاپ کنترل است. اثر کنترل اختناقی بر بازده، بر حسب تقاضای توان در سیستم در شکل ۳۰ نشان داده شده است. در حالیکه اختناق از نظر مصرف انرژی نسبت به روش گردش مجدد (هدایت قسمتی از جریان به یک‌ها دنبال کردن بسیار مؤثرتر منحنی VSD مجرای کناری برای گردش مجدد) بهتر است، مشخصه پمپ را میسر می‌سازند.

در بسیاری از کاربردها هد استاتیک تحویلی نسبتاً کوچک است. استثناهای قابل توجه عبارتند از: سیستم‌های آبی منبع و پمپ‌های تغذیه دیگ‌هایی که در فشار بالا کار می‌کنند.

تحت شرایط هد استاتیک تحویلی صفر، توان ورودی به پمپ با مکعب جریان تغییر می‌کند. بنابراین اگر ۱۰۰٪ جریان مستلزم توان کل باشد، ۸۰٪ جریان فقط به نیمی از توان کل نیاز خواهد داشت. کاهش بیشتر جریان تا ۷۰٪ منجر به نیاز توانی برابر با یک سوم بار کل خواهد شد.

یک V/F شکل ۳۰ - نیاز توان بر حسب تابعی از جریان برای روش‌های مختلف کنترل پمپ، وارونگر ۵۰٪ سیستم نسبت ولتاژ متغیرفرکانس است.

اثر کنترل سرعت بر مصرف انرژی یک پمپ سانتریفوژ نمونه با مقایسه شکل (۳۱) با شکل (۳۲) نشان داده شده است. مقایسه تلفات نسبی انرژی در این دو حالت با اندازه‌گیری مساحت‌های هاشور زده شده در این اشکال امکان‌پذیر می‌شود.

شکل ۳۱ و ۳۲ - مصرف توان در پمپ با سرعت ثابت

روش‌های کنترل سرعت هنگامی که تلفات اصطکاک در مشخصه سیستم غالب باشد، مناسب‌ترین روشها است. در حالتی که هد استاتیک تحویلی اساسی‌ترین مؤلفه باشد، کنترل سرعت مزیت کمتری خواهد داشت.

کنترل چرخه‌ای (شکل ۳۰) توسط روشن و خاموش کردن مداوم پمپ برای رسیدن به جریانی کمتر از میزان طراحی، صورت می‌گیرد.

با این وجود، روشن کردن متناوب پمپ می‌تواند اثر معکوس بر ضریب قدرت تولید شده (که منجر به افزایش شارژ الکتریکی می‌شود) داشته و فرسایش بیشتری ایجاد کند. چنین روش عملکردی می‌تواند از استفاده از تجهیزات راه‌اندازی ملایم بهره برد.

جریان مبنا می‌تواند متناوباً توسط یک پمپ سرعت ثابت که محدوده کنترل آن با استفاده از یک پمپ کنترل شده سرعتی به دست آمده، فراهم شود. اگر هر دو پمپ دارای ظرفیت یکسانی باشند، کاهش مصرف انرژی عاقلانه‌ای در محدوده کنترلی ۱۰۰-۵۰٪ را می‌توان انتظار داشت. هنگامی که پمپ‌های متعددی به صورت موازی با هم کار می‌کنند، کنترل ساده روشن - خاموش یک یا چند پمپ ممکن است کافی باشد که بستگی به پیچیدگی کاربرد دارد. در حالت نصب چندین پمپ، مزایای حاصل از کنترل سرعت و متغیر معمولاً کاهش می‌یابد. (مرجع ۳) اگر ملایمت کنترل جنبه با اهمیتی نباشد، ممکن است غیرضروری باشد. VSD استفاده از چند

انتخاب سیستم بهینه

انتخاب سیستم بهینه برای کاهش هزینه‌های انرژی تابعی از چندین عامل است. در حالت پمپ سانتریفوژ، مشخصه کارکرد، پروفیل بار و قدرت ورودی به سیستم با تجهیزات سیستم ارتباطی دارند که می‌بایست مدنظر قرار گیرد. میزان صرفه‌جویی با عوامل زیر تغییر خواهد کرد:

- میزان پس زدن پمپ
- گرادیان منحنی جریان
- هد
- گرادیان منحنی سیستم
- کاهش هد استاتیک تحویلی
- مدت زمان کارکرد
- هزینه‌های انرژی

علاوه بر این، چرخه مقرر شده پمپ و داده‌های مربوط به روشهای کنترل به کار گرفته شده و بازده‌های نسبی آنها مورد نیاز خواهد بود.

VSD پس از توضیح عواملی که بر میزان صرفه‌جویی انرژی در اثر استفاده از یک تأثیر می‌گذارند، تشخیص کاربردهایی که به احتمال زیاد مطلوب‌ترین مزایای اقتصادی را (مرجع (Bower) توسط بور I.Mech.E در بردارند، میسر خواهد شد. مقاله ارائه شده به (۳) به این مطالب با جزئیات بیشتری می‌پردازد. مباحث اصلی عبارتند از:

- منابع آبی، استفاده فرآیند و کاربردهای مشابه که در آنها جریان در طول سیستم‌های لوله‌ای وسیع تغییر می‌کند و تلفات اصطکاک غالب است.
- کاربردهایی که در آنها پمپ متناوباً بین سیستم‌هایی که دارای مشخصه‌های متفاوتند، تعویض می‌گردد.

- امکانات تست که در آنها ممکن است نرخ جریان و فشار متغیر لازم باشد.
- فرآیندهای دسته‌ای شامل چرخه‌هایی که به نرخ جریان متغیر نیاز دارند، اگر چه طبیعی است که فرآیندهای دسته‌ای عموماً خیلی سریع نتیجه نمی‌دهند.
- سیستم‌هایی که ظرفیت آنها می‌بایست صرف نظر از فشار سیستم که ممکن است متغیر باشد، ثابت نگه داشته شود: فرآیندهایی که شامل مایعاتی هستند که ممکن است تغییر لزجت دهند، مثالی از این نوع هستند.

علاوه بر کاهش هزینه انرژی که قابل دست‌یابی است، مزایای دیگری نیز از استفاده‌ها حاصل می‌شوند که شامل مواردی چون حذف، مشکلات ایجاد شده توسط چکش VSD آبی، کاهش بار هیدرولیک بر روی محرک‌ها (که می‌تواند توسط روشهای کنترل دیگر نظیر استفاده از شیرهای اختناق ایجاد شود) و بهبود کیفیت محصول می‌باشد.

، تعیین گرافیکی هزینه اضافی کار پمپ در اثر (Bower) به موجب داده‌های بور اشکالات موجود در سیستم محرک مکانیکی با فرض داشتن آگاهی از چرخه مقرر شده برای پمپ، امکان‌پذیر است. شکل (۳۳) هزینه‌های اضافی راه‌اندازی در اثر تلفات محرک را نشان می‌دهد.

شکل ۳۳ - هزینه‌های اضافی راه‌اندازی در اثر تلفات محرک

با استفاده از این روش افزایش هزینه را می‌توان برای هر مدت زمان کارکرد دلخواه تعیین نمود. برای مثال، یک پمپ ۱۰۰ کیلووات که در هر روز ۱۲ ساعت (ضریب عملکرد ۵۰٪) با بازده محرک ۹۰٪ کار می‌کند، به علت تلفات محرک هزینه اضافی بالغ بر ۲۰۰۰ پوند در سال را در برخواهد داشت.

انتخاب‌های خاص

انتخاب‌های موجود برای عملکرد پمپ‌ها در شکل (۳۴) نشان داده شده‌اند:

شکل ۳۴ - گزینه‌های مربوط به عملکرد کارآمد پمپ از نظر انرژی

- موتورهای دارای بازده بالا: در حالتی که بار طراحی معینی مورد انتظار است، در نظر داشتن نصب موتورهایی با بازده بالا بر روی تجهیزات جدید و یا هنگامی که احتیاج به

تعویض موتورهایست، عقلانی می‌باشد.

- موتورهای دو سرعت: استفاده از موتورهای دو سرعت هنگامی که تقاضا از پمپ، از مشخصه مناسبی تبعیت می‌کند و یا در ارتباط با قطع اتصال در تجهیزات چندگانه پمپ‌هاست، می‌تواند سودمند باشد.
- محرک‌های دارای سرعت متغیر: VSDها برای پمپ‌ها مناسبند. مزایای نسبی آنها در بخش (۸-۳) ارائه شده است.

شکل ۳۵ ارتباط بین میزان صرفه‌جویی در هزینه و جریان و هد سیستم را برای یک صد کیلوواتی نشان می‌دهد. کاهش جریان به میزان فقط VSD پمپ ۲۵٪ از نقطه طراحی منجر به صرفه‌جویی سالانه ۱۰۰۰۰ پوند شده یا کمی بیش از یک سال طول می‌کشد تا جبران هزینه شود. (بر مبنای هزینه‌های مالی استخراج شده از شکل ۴۶ در ضمیمه ۴) اطلاعات بیشتری در مراجع ۴ و ۵ ارائه شده است.

شکل ۳۵ - میزان صرفه‌جویی هزینه در یک راننده پمپ با سرعت متغیر در توان اسمی ۱۰۰ کیلووات

کمپرسورها نیز مثل پمپ‌ها و فن‌ها نیز در بسیاری بخشهای صنعتی و همچنین در ساختمانها در موارد بسیار متنوعی ایفای نقش می‌کنند. وظیفه کمپرسور افزایش فشار گاز است که معمول‌ترین آنها هوا و یا گازهای تبرید می‌باشند. گاز طبیعی و گازهای صنعتی نیز کمپرس می‌شوند، ولی کمپرسورهای مورد استفاده در این امور اغلب خارج از محدوده توانی که در این کتاب به آن پرداخته شده، قرار می‌گیرند.

آمار مربوط به مصرف انرژی در به کارگیری کمپرسور در بریتانیا بیانگر آن است که زمینه برای صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در هزینه وجود دارد. تخمین زده می‌شود که تقریباً ۱۰٪ از الکتریسیته صنعتی مصرفی در بریتانیا به استفاده در کمپرسورها اختصاص می‌یابد.

تحقیقی در مورد استفاده کنندگان بزرگ تبرید که در سال ۱۹۸۴ انجام شد، نشان داد که کنترل بهتر سیستم که شامل کنترل کمپرسور باشد ممکن است منجر به صرفه‌جویی بالغ بر ۱۲/۵ میلیون پوند در سال گردد.

ترمودینامیک کمپرسورها صرف نظر از نوع کمپرسور مورد استفاده از قوانین مشابهی تبعیت می‌کند، گرچه از یک نوع کمپرسور به نوع دیگر، راندمان می‌تواند تغییر قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. علاوه بر این، هر نوع کمپرسور مشخصات خاص خود را دارد که بر روشی که طبق آن عملکرد آن را می‌توان کنترل نمود، تأثیر می‌گذارد. کمپرسورهایی که بیشتر مورد توجه‌اند در گروه ماشینهای جابجایی مثبت قرار می‌گیرند. قسمت عمده بحث مربوط به کمپرسورهای جدید است که در آنها روشهای صرفه‌جویی در انرژی اکنون به طور منظم اجرا می‌شود.

از معمول‌ترین انواع کمپرسور جابجایی مثبت می‌توان کمپرسور پیستونی و انواع مختلف دوآر نظیر پیچی و پره‌ای دوآر را نام برد. کمپرسورهای سانتریفوژ در انتهای محدوده اندازه قرار می‌گیرند. مانند کمپرسورهای حلزونی که اخیراً ارائه شده‌اند. استفاده از این کمپرسور در موارد تبرید و تهویه مطبوع رو به افزایش است.

کمپرسورهای پیستونی

جریان حجمی کمپرسور جابجایی مثبت حاصلضرب جابجایی در بازده حجمی (نسبت حجم تحویلی به جابجایی) و سرعت دورانی است. همه پارامترهای مربوط در مرحله مکش یعنی تحت شرایط ورودی کمپرسور قرار دارند.

برای نسبت فشار ثابت، حجم در هر کورس با طراحی ماشین مشخص می‌شود. پس جریان حجمی منحصراً با سرعت کمپرسور تعیین می‌گردد. راندمان حجمی کمپرسور پیستونی را نباید با راندمان کاری یا مکانیکی اشتباه گرفت؛ این راندمان تنها نسبت

ظرفیت واقعی کمپرسوری که مورد استفاده قرار می‌گیرد به جابجایی اسمی است. یک نوع کنترل کمپرسور مشتمل بر استفاده از فضاهای لقی است که می‌توانند به طور اتوماتیک باز شده، بازده حجم کمپرسور را تغییر دهند و بنابراین نرخ گاز خروجی تغییر می‌یابد. با استفاده از این روش بازده حجمی را می‌توان ۹۰٪ به ۳۰٪ کاهش داد.

یک روش معمول برای کنترل ظرفیت در کمپرسورهای پیستونی، باربرداری از سیلندرها از طریق بازگذاشتن سوپاپ مکش روی سیلندر یا سیلندره‌های مناسب در حین چرخه کامل است. این روش از نظر مصرف انرژی بسیار مورد توجه است زیرا هنگامی که سیلندر عملاً از دور خارج می‌گردد، میل محور از دوران باز نمی‌ایستد. اصولاً تلفات از این سرچشمه می‌گیرند که در شیر مکش جریان در هر دو جهت عبور می‌کند و تلفات اصطکاک در قسمت‌های بدون بار سیستم باقی می‌ماند.

اگر روش کنترل روشن خاموش مورد استفاده قرار گیرد، باربرداری از سوپاپ، فرسایش و انرژی اضافی مربوط به راه‌اندازی و توقف کمپرسور را نیز کاهش خواهد داد. در کمپرسورهای تک سیلندر، از باربردارها می‌توان برای ایجاد عمل روشن - خاموش بین دو حد فشار استفاده کرد. باربرداری از سیلندر و استفاده از فضاهای لقی کنترل ظرفیتی به دست می‌دهد که مشخصه آن کندی آن است. هنگامی که فشار یا جریان ثابت لازم است، متغیرهای دیگر اهمیت می‌یابند. در این حالت، کنترل سرعت بسیار مفید است.

گشتاورهای راه‌اندازی در کمپرسورهای پیستونی ممکن است بزرگ باشند و بنابراین دقت زیادی اعمال گردد. گرچه محرکه‌های جریان VSD می‌بایست در انتخاب سیستم عادی قادر به ایجاد گشتاورهای راه‌اندازی بزرگ هستند، به عنوان انتخابی دیگر، می‌توان را در حالت بی باری کامل، راه‌اندازی کرد که در نتیجه این VSD کمپرسور کنترل شده محدودیت حذف می‌گردد.

در سیستم‌های دارای چند کمپرسور، کنترل روشن - خاموش بسیار رایج است. هنگامی که بار مبنای قابل ملاحظه‌ای وجود داشته باشد، ترکیبی از کمپرسورهای پیچی و پیستونی قابل استفاده است. از آنجا که واحدهای کمپرسور پیچی در بار جزء از خود مشخصات عملکرد ضعیفی نشان می‌دهند، استفاده از آنها می‌بایست به بار مبنای مقرر محدود گردد، در حالی که کمپرسورهای پیستونی با باربرداری از سیلندر، جوابگوی تغییرات در بار هستند.

بعضی از تولید کنندگان به عنوان روشی در بهبود بازده انرژی، موتورهای دو سرعت را انتخاب می‌کنند. این امر اجازه می‌دهد که انتخاب تجهیزات بر مبنای بزرگترین ضریب عملکرد در شرایط باری صورت گیرد که کمپرسور تحت آن شرایط و یا نزدیک به آن برای اکثر اوقات سال کار خواهد کرد.

شکل ۳۶- عملکرد ضعیف کنترل مجرای کناری گاز را نشان می‌دهد و یک روش کنترل ظرفیت دیگر است که اغلب به کارگرفته می‌شود. این روش علاوه بر واحدهای پیستونی، در انواع دیگر کمپرسور نیز قابل اجراست. شکل ۳۶- نشان می‌دهد که در ظرفیتهای بالا مزایای افزوده کنترل سرعت متغیر چشمگیر نیستند.

شکل ۳۶ - روش‌های مختلف کنترل کمپرسور که نمایانگر عملکرد ضعیف کنترل مجرای کناری است

انواع مختلف کمپرسورها مشخصات راندمان متفاوتی از خود نشان می‌دهند اما معمولاً ماشین پیستونی برتر از دیگر ماشین‌های معمول هم در شرایط بار کامل و هم در بار جزء است (شکل ۳۷).

در هر حال، این داده‌ها کلی بوده و در مدل‌های کمپرسور خاص، برای داشتن داده‌های دقیق از بازده می‌بایست با تولید کننده مشورت نمود.

شکل ۳۷ - مصرف توان کمپرسورها در بار جزء

کمپرسورهای دوار

روش‌های ممکن کنترل کمپرسورها مشابه روش‌های مربوط به واحدهای پیستونی است به جز روش باربرداری سیلندر که منحصر به کمپرسورهای پیستونی می‌باشد. کمپرسور سانتریفوژ که تمایل به استفاده از آن در قسمت بالایی محدوده توانی در نظر گرفته شده در این راهنما می‌باشد، تحت ضربه موجی می‌باشد و معکوس شدن جریان به طور ضربانی است که در نتیجه شیب منحنی مشخصه هد / جریان معکوس می‌گردد. گردش مجدد گازها در یک مجرای کناری می‌تواند برای غلبه بر این مشکل مورد استفاده واقع شود.

مشخصه حد ضربه موجی در یک کمپرسور سانتریفوژ می‌تواند برای نشان دادن اثر کنترل پره راهنمای ورودی بر عملکرد کاهش جریان، مورد استفاده قرار گیرد، (شکل ۳۸) ها رقابت کند. شینسکی (مرجع VSD) ادعا شده است که این روش کنترل می‌تواند با روش (۱) مثالی را ارائه داده است: یک کمپرسور سانتریفوژ با پره‌های راهنما که در جریان ۷۰٪ اختناق می‌یابد، چنانچه تقریباً ۷۲٪ از توان طراحی را مورد استفاده قرار دهد. اختناق سوپاپ مکش مستلزم به توان ۷۵٪ خواهد بود. در مقایسه می‌توان گفت که استفاده از یک در بار مشابه نیاز به توان برابر ۶۸٪ توان طراحی خواهد داشت. VSD

شکل ۳۸ - پره‌های راهنمای ورودی برای تغییر جریان در کمپرسور سانتریفوژ

اغلب از اختناق تخلیه برای کنترل کمپرسور استفاده نمی‌شود زیرا اجازه کاهش جریان چندان مناسبی را نمی‌دهد و از نظر انرژی نسبت به دیگر راه‌های اختناق در مکش یا پره راهنما کارآیی کمتری دارد، در انتخاب کمپرسور برای یک کاربرد خاص می‌بایست مقطع باری که انتظار می‌رود را در نظر داشت. تولید کنندگان کمپرسور می‌بایست بتوانند داده‌هایی که راندمان را تحت شرایط کارکرد نمونه (مثلاً بار کامل، بار ۷۵٪، ۵۰٪، ۲۵٪) مشخص می‌کند، فراهم کنند. مقایسه‌ای از ترکیبهای مختلف کنترل کمپرسور در شکل ۳۹ نشان داده شده است.

شکل ۳۹ - مقایسه ترکیب‌های کنترل کمپرسور برای یک پروفیل بار معین

این داده‌ها که از یک راهنمای آمریکایی اقتباس شده‌اند (بخش ۱۳ را ببینید) مربوط به کمپرسورهایی است که با مقطع بار کارخانه‌ای که میانگین آن ۵۶٪ بار کامل است کار می‌کنند و شامل اجزای زیر است: بار صفر برای ۱۵٪ مدت زمان ۲۵٪ بار برای ۱۰٪ اوقات، ۵۰٪ بار برای ۲۵٪ اوقات، ۷۵٪ بار برای ۳۵٪ اوقات و بار کامل ۱۰۰٪ تحویل می‌شود. 1 lb/in^2 فقط برای ۱۵٪ مواقع. هوا در فشار برابر

کمپرسورهای تبرید کاملاً درزبندی شده و نیمه درزبندی شده:

از نظر اثر بازده موتور بر عملکرد کمپرسورهای تبرید درزبندی شده و نیمه درزبندی شده و ضعیف منحصر به فردی وجود دارد. در این سیستمها، موتور توسط مایع تبرید که در گردش است خنک می‌گردد که خلاف واحدهای باز است که قبلاً در بخش سیستم توضیح داده شد. CVC مارگوس

در حالت کمپرسور باز، راندمان موتور می‌تواند بخش مهمی از کل راندمان ایزنتروپیک (بازده با تراکم کامل)^۱ باشد. بنابراین، استفاده کنندگان از کمپرسور علاقمند به استفاده از موتورهای دارای بازده بالا هستند. با این وجود، اگر خود موتور توسط مایع تبرید خنک

^۱ - Isentropic efficiency

شود، این انرژی گرمایی به مایع تبرید افزوده می‌گردد. افزایش ایجاد شده در دمای گاز مکش به صورت افزایش در کار ورودی کمپرسور در هر بار مقرر ظاهر می‌گردد. این امر در شکل (۴۰) برای طیفی از دماهای تبخیر نشان داده شده است.

شکل ۴۰ - اثر بازده کم موتور بر عملکرد یک کمپرسور درزبندی شده در دماهای مختلف تبخیر

این مسأله در کمپرسورهای کوچک بغرنج‌تر است، چون موتورهای تمایل به داشتن راندمان پایین‌تر دارند و برای کمینه کردن تلفات انرژی احتیاج به بهینه‌سازی می‌باشد. در یک حالت (مرجع ۹) بهبود به میزان ۶٪ در بازده موتور که در نتیجه استفاده از موتوری با بازده بالا بود، منجر به صرفه‌جویی به مقدار ۱۳٪ در توان ورودی به کمپرسور شد که تا حدی به علت کاهش حرارت انتشار یافته به مایع تبرید بود.

به کارگیری کنترل‌کننده‌های موتور در کمپرسورها:

استفاده از کنترل کننده‌های موتور در محرکه‌های کمپرسورها ممکن است از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. مطالب ثبت شده که اصولاً مربوط به استفاده از آنها در قسمت تبرید است گواهی بر این ادعاست (مرجع ۹). ولی در زمینه کمپرسورهای هوایی (مرجع ۷) نیز از کنترل کننده‌ها بحث به میان می‌آید. بعضی از کنترل کننده‌های موجود در بازار امکان راه‌اندازی ملایم را فراهم نمی‌کنند و بنابراین نسبتاً ارزان هستند. این کنترل کننده‌ها خصوصاً برای نصب در تبرید مناسب هستند زیرا موتورهای فوق معمولاً هنگام کار در ۶۰-۵۰٪ ظرفیت اسمی عمل می‌کنند. میزان صرفه‌جویی و نیز میزان هزینه در بعضی از سیستم‌های نصب شده در جدول (۵) ارائه شده‌اند.

جدول ۵- مثالهایی از تعبیه موفق کنترل کننده‌های موتور

استفاده کننده	صرفه‌جویی سالانه	هزینه کل (پوند)	برگشت در سال (پوند)
سردخانه استاکپورت	۹۵۰	۸۲۰	۰/۹
فروشگاه‌های زنجیره‌ای تاین اندویر	۸۱۰	۶۸۶	۰/۸
EC2 کافه	۷۳۴	۹۰۱	۱/۲
قصابی وست کلامرگان	۵۶۰	۸۲۰	۱/۵
فروشگاه غذای آماده کاکس گرین	۴۵۲	۶۵۰	۱/۴
W8 پیتزا رستوران	۱۹۳	۳۹۰	۲
مرغداری لایتون بوزار	۱۸۸	۳۱۳	۱/۷
سردخانه اجساد اسلو	۱۳۰	۲۲۰	۱/۷
کل	۴۰۱۷	۴۸۰۰	-
میانگین	۵۰۲	۶۰۰	۱/۲

استفاده از کنترل کننده‌ها در اکثر کمپرسورها عملی است و اغلب باعث نرمی راه‌اندازی، حفاظت در برابر اضافه بار و دیگر موارد ایمنی می‌گردد. از کنترل کننده‌های موتور در سیستم‌های محرکه کمپرسور بزرگ در ایالات متحده استفاده گردید و اثر آن بر روی موتورهای تا ۷۵ کیلووات در شکل (۴۱) نشان داده شده است. مقادیر صرفه‌جویی‌های نشان داده شده بر حسب درصد توان در بار کامل اندازه‌گیری شده است.

در شرایط توان بالا/ بار بالا در ماشین‌های بزرگتر نیز به انرژی اضافی نیاز است و این امر اهمیت دقت لازم در انتخاب تجهیزات برای امکان برآورده ساختن مشخصات پروفیل بار معین را روشن می‌سازد.

شکل ۴۱ - مقادیر خالص صرفه‌جویی توان با استفاده از کنترل‌کننده موتور

محرکه‌های سرعت متغیر بر روی کمپرسورها:

ها (محرکه‌های سرعت متغیر) بر روی کمپرسورها به سیستم‌هایی VSD بحث نصب که در کارخانه تعبیه شده‌اند ارتباط دارد. تغییر طراحی معمولاً انجام نمی‌گیرد در طراحی سیستم می‌بایست مشخصاتی چون فرکانس‌های طبیعی اجزای کمپرسور را در نظر داشت.

مارگوس CVC سیستم

مارگوس که در ابتدا برای چیلرها و یخچال‌ها طراحی شده بود اکنون CVC سیستم سیستم بر (CVC) به کار می‌رود. ظرفیت همواره متغیر HVAC در کاربردهای وسیعتر مبنای یک معکوس کننده استوار است. معکوس کننده با یک کنترل کننده در ارتباط است که علاوه بر توانایی در حفاظت معمولی و جمع‌آوری و انتقال داده‌ها که از طریق حسگرها و نرم‌افزارهای مدرن امکان‌پذیر است، کنترل دقیق دما و یا کنترل دقیق فشار مکش را انجام می‌دهد.

کنترل کننده برای حفظ شرایط نقطه تعیین شده (دما یا فشار مکش) سرعت را کاهش داده بنابراین ظرفیت کمپرسور را کاهش می‌دهد. به عنوان مثال عکس‌العمل در برابر کاهش بار منجر به سرعت و ظرفیت پایین‌تر می‌گردد، در حالیکه افت دمای محیط اثر مشابهی دارد که توسط دمای میعان پایین‌تر شروع می‌گردد.

معکوس کننده مورد استفاده توسط مارگوس از راه‌اندازی ملایم و امکانات کاهش سرعت کنترل شده استفاده می‌کند. از نرم‌افزار برای کمک به حفظ ضریب قدرت بالا و تنظیم احتیاجات گشتاور با احتیاجات کمپرسور استفاده می‌گردد. برای مثال، هنگامی که شرایط خارجی مستلزم کارکرد در نسبت فشار بالا باشد، گشتاور زیادی مورد نیاز است. کنترل کننده و یا معکوس کننده نیز برای حذف عمل در سرعت‌هایی خاص از پیش برنامه‌ریزی شده‌اند. این امر را می‌توان برای اجتناب از هم‌فرکانس شدن با فرکانسهای رزونانس (همنوائی) مورد استفاده قرار داد.

در مقایسه با سرعت نرمال کمپرسورها که ۱۴۵۰ دور بر دقیقه است، محدوده سرعت کمپرسورهای پیستونی بین ۴۰۰ تا ۲۰۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. از سرعت‌های بالاتر برای پاسخگویی در برابر بارهای ماکزیمم که در گرمترین روزها اتفاق می‌افتند، استفاده می‌شود. محدوده اندازه بر حسب ظرفیت بین ۶ تا ۴۶۰ کیلووات است.

EEO مارگوس از نظر قابلیت امکان‌پذیری CVC در یک سوپر مارکت، سیستم بررسی شد. نتایج نشان دادند که به مقدار ۵۶٪ توان در مورد محصولات لبنی که در انتهای بالایی دامنه دمای سرد کننده قرار داشتند و ۳۰٪ توان در مورد غذاهای منجمد صرفه‌جویی شد. شکل (۴۲) مصرف توان روزانه را برای سیستم عمل قدیمی در مقابل برای هر دو حالت منجمد شدن و ذوب شدن نشان می‌دهد. CVC سیستم عمل

مارگوس در برابر تبرید CVC شکل ۴۲ - مقایسه مصرف الکتریسته: سیستم با کنترل قدیمی

: در حال حاضر شرکت‌های زیادی به تولید سیستم‌های VSD سیستم‌های دیگر تبرید می‌پردازند. برای اطلاعات بیشتر، به کتاب محرکه‌های سرعت متغیر VSD کمپرسور (مرجع ۸) به تألیف ام میلز رجوع شود.

اکنون واحدهای فشرده‌تر و بزرگتر تهویه مطبوع و پمپ حرارتی مجهز به معکوس کننده در بازار موجودند. معکوس کننده‌ها به عنوان تجهیزاتی استاندارد در آنها نصب می‌گردند. از یک تحقیق انجام شده از سوی آژانس بین‌المللی انرژی (مرجع ۹) در مورد پمپ‌های حرارتی دارای محرک معکوس کننده، نتایج جالبی به دست آمده است که در رابطه با سیستم‌های تبرید و تهویه مطبوع نیز قابل اعمال است. گرچه واحدهای آزمایش شده در حد ۵ کیلووات و یا کوچکتر بوده و بنابراین نمایانگر واحدها در مقیاس صنعتی نبودند، کمپرسورهای بزرگتر پیستونی، پره‌ای دوار و حلزونی نیز مورد بررسی قرار گرفتند.

در کمپرسورهای پیستونی، مشاهده شد که تغییر سرعت به علت مشکلات روانکاری در انتهای پایینی مقیاس و به علت تلفات در سوپاپ و نیروهای اسیلاتور (نوسان‌ساز) در انتهای بالایی (۳۰۰۰ دور در دقیقه) آن، منحصر می‌شد.

امری با اهمیت تلقی می‌شد در (PWM) در سرعت‌های پایین، تلفات معکوس کننده حالیکه کمپرسورهای پره‌ای دوآر با مشکل کاهش بازده‌های حجمی و آیزنتروپیک در سرعت‌های کم‌تر و بیشتر از مقدار بهینه ۵۰۰۰ دور بر دقیقه مواجه بودند. ماشین‌های حلزونی و ماشین‌های پیچی کوچک به علت تلفات اصطکاک داخلی دارای نسبت سرعت‌های محدودی بودند.

خلاصه‌ای از روشهای ممکن کنترل:

جدول (۶) خلاصه‌ای از روشهای کنترل متعدد موجود برای انواع مختلف کمپرسورها را نشان می‌دهد:

جدول ۶- روشهای کنترل کمپرسور

نوع کمپرسور	روشهای ممکن کنترل
پیستونی	بهترین روشها VSD یا باربرداری از سیلندر است و بدترین آنها مجرای کناری گاز روشهای دیگر عبارتند از موتورهای دو سرعته، ایجاد فواصل منفی، کنترل روشن - خاموش واحدهای تک یا چند واحد.
پره‌ای دوار پیچی (دو قلو) پیچی (تک)	کنترل‌های تغییر جریان مثل آی‌ام‌فلویدر روتاسیو (IMI Fluidair Rotasave) VSD. لغزش شیر ورودی (در بارهای کم خیلی خوب نیست) - سوپاپ چرخنده مانند کمپرسور پیچی دوقلو باربرداری چند مرحله‌ای از طریق سوپاپ در محفظه سیلندر (تا ۵۰٪ ظرفیت)
سانتریفوز	VSD یا پره‌ای راهنما متغیر در ورودی از بهترین روشها هستند. مستهلک کننده مکش یا مجرای کناری گاز روشهای خیلی خوبی نیستند.
حلزونی شکل	VSD

+ در واحدهای نیمه درزبندی شده، کاهش ظرفیت با استفاده از این روش می‌بایست تا ۵۰٪ مقدار مرجع ۱۰ مینیمم محدود شود.

۹-۴- کاربردهای متنوع دیگر

علاوه بر فن‌ها، پمپ‌ها و کمپرسورها، زمینه‌های بسیار دیگری وجود دارند که می‌توان به مزایای راندمان انرژی دست یافت. گرچه، در این موارد، مشخصات دیگر از قبیل قابلیت اعتماد بالا، قابلیت کنترل خوب و غیره در انتخاب سیستم مناسب از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.

تسمه نقاله‌ها: همه روشهای بحث شده در مورد محرکه‌های تسمه نقاله‌ها مفید هستند. برای مثال، مسئولین فرودگاه‌های بریتانیا از موتورهای دارای راندمان بالا و راه‌انداز ملایم در تسمه‌های جابجا کننده مسافری، پله‌های برقی و سیستم‌های حمل بار استفاده می‌کنند. برای موتورهای دارای راندمان بالا، زمان جبران هزینه تقریباً یک سال بر مبنای موقعیت کنترل کارآمد انرژی VSD هزینه‌های جانبی است. در صنایع غذایی، استفاده از را برای فرآیندهای تولید میوه‌ها می‌سازد.

در سیستم‌های محرکه چند موتوره که در بسیاری از فرآیندهای تولید پیوسته، معمول هستند، اغلب پایداری بلند مدت خطها از نظر سرعت، امری حساس است. هنگامی با محرک‌های PWM که عمل کنترل از اهمیت خاصی برخوردار باشد، معکوس کننده‌های دارای قطع و وصل رلوکتانسی را می‌توان مورد استفاده قرار داد. مثالهایی از این مورد

عبارتند از: تولید شیشه، میزهای استوانه‌ای فولادی و تجهیزات بسته‌بندی، صنایع الیاف مصنوعی در استفاده بیشتر از این روش پیشگام بوده‌اند.

ماشین‌های ابزار: صنایع ماشین ابزار وابستگی زیادی به محرکه‌های خودکار جریان مستقیم که از موتورهای مغناطیسی دائم استفاده می‌کنند، دارد. در این زمینه هنگام انتخاب محرکه‌ها، راندمان انرژی به ندرت بر دیگر عوامل اولویت داشته است، اگرچه می‌توان با خاموش کردن دستگاه هنگامی که از آن استفاده نمی‌شود، هزینه‌های انرژی را کاهش داد. موتورهای دارای راندمان بالا در حالات مناسب می‌توانند سودمند واقع شوند.

صنایع کاغذ: برای کاهش مصرف انرژی در فرآیندهای تولید کاغذ موقعیتهای بسیاری وجود دارد. اره‌های دایره‌ای شکل که می‌توانند نوسانات زیاد بار را پاسخگو باشند از کنترل‌ها می‌توان کاربردهای بسیاری در VSDکننده‌های موتور سود می‌برند، در حالیکه برای خط تولید مثل به حرکت درآوردن دستگاه‌های له‌کننده کاغذ یافت. کاربردهای بسیار دیگری از موتورها و محرک‌های دارای راندمان بالا را می‌توان بیان کرد. اگر تصمیم استفاده از آنها را دارید، به شما توصیه می‌شود که از تهیه کنندگان دستگاه‌ها بخواهد تا فهرست مراجع مربوط به زمینه‌های کاربرد مورد نظر شما را در اختیارتان قرار دهند.

۱۰- مطالعات موردی

مثالهایی از نصب تجهیزاتی چون موتورهای با راندمان بالاتر، کنترل کننده‌ها و ها (موتورهای با سرعت متغیر)، توسط تهیه کنندگان تجهیزات و استفاده کنندگان VSD از آنها فراهم شده است که در آنها صرفه‌جویی‌هایی در هزینه‌های مربوط به انرژی صورت یافته است. بعضی از این موارد همراه با جزئیات مربوطه از نظر می‌گذرند. داده‌های فوق عمدتاً از طریق متون مربوط به صنایع یا استفاده‌کنندگان به دست آمده است. گرچه، در بعضی از مثالها، ارزیابی‌های اقتصادی بر مبنای اطلاعات جمع آوری شده توسط تهیه کنندگان دستگاه صورت گرفته است، می‌بایست توجه خاصی به تعرفه‌های نقل شده معطوف داشت چرا که اثر قابل ملاحظه‌ای بر هزینه‌های برق مصرفی دارند.

الف: کنترل کننده‌های موتور بر روی ماشینهای با بار سبک:

(Courtaulds) استفاده کننده‌ها: مکانهای مختلف در کورت ال دز

تهیه کننده تجهیزات: شرکت صرفه‌جویی در انرژی و "بروک کرامپتون

(Energy save Ltd&Brook Crompton)

در سال ۱۹۸۴ با موفقیت (Courtaulds) نصب تجهیزات در هشت مکان در کورتالدز انجام شد.

هم‌زن استات (نمک جوهرسرکه): این دستگاه یک ماشین مخلوط کن است که هنگامی که تغییرات بار در طول یک چرخه از ۴۱٪ تا ۶۵٪ جریان بار کامل باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

قدرت لازم در هر سری از ۹۹ کیلووات به ۸۱ کیلووات کاهش یافت که صرفه‌جویی آن معادل ۸۷۲ پوند در سال است. برای تعداد ۲۳ هم‌زن، کل میزان صرفه‌جویی شده بالغ بر ۲۰۰۰۰ پوند در سال بود. هزینه هر یک از کنترل‌کننده‌ها (شامل هزینه نصب) ۷۲۰ پوند بود که زمان جبران هزینه ده ماه طول کشید.

ماشین‌های بافتنی با میز صاف: ماشین‌های بافتنی بار چرخه‌ای دارند که میانگین آن به سرعت ماشین و نوع نخ بستگی دارد.

با استفاده از یک کنترل‌کننده با قدرت اسمی ۴ کیلووات، مصرف توان به میزان ۱۹٪ کاهش یافت. برای هر ماشین میزان صرفه‌جویی در هزینه ۱۵۱ پوند با هزینه نصب ۱۸۵ پوند بود. زمان لازم برای جبران هزینه‌ها حدود ۱۵ ماه بود. سپس مشخص شد که استفاده از یک واحد بزرگتر که دارای ماشین‌های بافتنی متعددی باشد از نظر اقتصادی به صرفه‌تر است.

دستگاه‌های نخ تابی منسوجات: این ماشین‌ها دارای موتورهای الکتریکی هستند که تطبیق با تعداد نخ‌ها و پیچ و تاب آنها را امکان‌پذیر می‌سازد. در نتیجه معمولاً مقادیر کمتر از ظرفیت اسمی به خوبی کار می‌کنند.

دو کنترل‌کننده با مقادیر اسمی متفاوت در سیستم نصب شدند؛ یکی برای موتورهای ۱۵ کیلووات و دیگری برای کنترل شش دستگاه با اندازه‌ای بالغ بر توان ۷۵ کیلووات. آزمایشات نشان دادند که کاهش قدرت در واحد کوچکتر ۸/۶٪ با میزان ۱۳۸ پوند صرفه‌جویی در سال و زمان لازم ۱۷ ماه برای جبران هزینه بود. این زمان برای واحد بزرگتر به ۱۴ ماه رسید.

موتورهای فنهای تراش سنگ: کنترل‌کننده‌های موتور بر روی دو سنگ تراش که هر یک چندین فن داشتند، نصب شدند. یکی از سنگ‌تراشها که دارای پنج فن بود، کاهش توانی برابر با ۱۵٪ داشت که ۴۸۰ پوند در سال صرفه‌جویی شد. هزینه کنترل‌کننده چند موتور ۱۵ کیلوواتی ۲۷۵ پوند و مدت زمان لازم برای جبران هزینه حدود ۷ ماه بود.

در سنگ تراش دوم، هشت موتور فن کنترل شدند و هزینه آن ظرف مدت یک سال بازگردانیده شد.

پرسهای عدل زنی: نیاز به توان در موتورهای پرس عدل‌زنی به میزان ۱۸٪ کاهش یافت و در نتیجه مقدار ۴۶۶ پوند در سال در هزینه صرفه‌جویی شد. هزینه کنترل کننده سنگین کار ۶۴۴ پوند و زمان لازم برای جبران هزینه ۱۶ ماه بود. این کاربرد بسیار خوبی بود زیرا توان در مثال‌های فوق دارای زمان جبران هزینه بین هفت تا هفده ماه است. گرچه، مزایایی که ممکن است به علت هزینه‌های کاهش یافته ماکزیمم تقاضا، به دست آیند، در نظر گرفته نشده‌اند.

ب: محرک‌های دارای سرعت متغیر در فن تهویه

(Southlands) به کار گیرنده: بیمارستان ساوتلندز

تهیه کننده تجهیزات: شرکت هولدزورث الکترونیک دیولوپمنتس

(Holdsworth Electronic Developments Ltd)

در یک بلوک بخش چهار طبقه در بیمارستان ساوت لندز، فنهای هوارسانی و هواکش در ابتدا پیوسته با سرعت کامل کار می‌کردند. بیمارستان تصمیم گرفت تا قابلیت صرفه‌جویی در میزان انرژی را با به کارگیری سرعت‌های متغیر فن برای تنظیم طبق نیازهای جریان هوا، ارزیابی کند.

بررسی ابتدایی مصرف قدرت در موتورها نشان داد که موتور مربوط به فن تحویل دهنده ۲۲ کیلوواتی، ۲۰/۶۹ کیلووات و موتور فن خارج کننده ۱۱ کیلوواتی، ۷/۹۹ کیلووات قدرت مصرف می‌کرد. تصمیم گرفته شد که با یک ساعت زمانی پیش تنظیم هفت روزه و انتخاب سرعت‌های تنظیم شده مربوط به روز و شب، آنها را کنترل کنند. معکوس توسط شرکت V-DAC کننده‌های فرکانس متغیر در سپتامبر سال ۱۹۸۳ فراهم و نصب (Brammer Dynamics) برامر داینامیکس شدند.

این سیستم هنگام روز در ۸۰٪ سرعت معمولی و در شب با ۵۰٪ سرعت معمولی فعال بود. بالغ بر ۵۴۱۶ پوند در سال صرفه‌جویی شد و مدت زمان جبران هزینه به دو سال و نیم رسید که هزینه سرمایه برابر با ۱۳۴۷۰ پوند بود. همچنین، کاهش قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌های گرمایشی به علت کاهش جریانهای هوا به دست آمد. این میزان صرفه‌جویی‌های

اضافی تقریباً با صرفه‌جویی‌های مربوط به مصرف برق برابر بود که در نتیجه مدت زمان جبران هزینه به ۱/۳ سال کاهش یافت.

برای تعیین کمترین تعداد تغییرات هوای لازم (CO₂) از ردیابی دی‌اکسیدکربن استفاده شد که این امر منجر به کاهش بیشتر سرعت فن به میزان ۵۰-۴۰٪ سرعت عادی و برای ۲۴ ساعت در روز گردید. مدت لازم برای جبران هزینه نیز به کمتر از یک سال کاهش یافت. در سال ۱۹۸۷، این روش برای زیرپوشش قرار دادن مکانهای دیگر بیمارستان، توسعه یافت. از شرکت مزبور خواسته شد تا چهار واحد دیگر همراه با کنترل اتوماتیک در اختیار بیمارستان قرار دهد. اندازه فن‌هایی که می‌بایست کنترل می‌شدند در (CO₂) محدوده ۴۵-۱۱ کیلووات بود.

میزان کل صرفه‌جویی از همه پروژه‌ها بالغ بر ۴۲۷۸۳ پوند در سال است که در برابر هزینه سرمایه‌گذاری به میزان ۳۹۲۰۰ پوند، مدت بازگشت هزینه برابر ۱۱ ماه را نشان می‌دهد. علاوه بر این، به علت امکانات راه‌اندازی نرم در واحدهای معکوس کننده‌ها، اکنون پارگی در تسمه‌ها کمتر رخ می‌دهد.

ج: محرکه‌های با سرعت متغیر در فن کوره

(south Eastesn Oil Refinery) استفاده کننده: پالایشگاه نفت جنوب شرقی

(GEC Industrial Controls) تهیه کننده تجهیزات: شرکت کنترل صنعتی جی‌ای‌سی (Ltd)

که هر یک دارای قدرت ۱۶۹ کیلووات است، نصب شده‌اند. موتورها با تأمین هوا از طریق یک واحد جبران کننده حرارت به یک کوره که برای پیش گرم کردن نفت خام تا دمای ۳۵۰ درجه و (FD) سیلسیوس مورد استفاده قرار می‌گیرد، فن‌های سانتریفیوژ از نوع کوران فشاری را به حرکت در می‌آورند. (نگاه کنید به شکل ۴۳) (ID) نوع جریان هوای القایی

ها (راننده‌های سرعت متغیر) را نشان می‌دهد VSD شکل ۴۳ - نمای شماتیک کوره‌های پالایش که میزان ورود هوا به کوره‌ها به عنوان تابعی از مقدار نفت خام مورد فرایند تغییر می‌کند. در سیستم ابتدائی، این امر با تنظیم دستی دمپرها (نگاه کنید به ۱-۹-) و تنظیم دقیق با استفاده از دمپره‌های جداگانه در کانال‌هایی که چهار سلول کوره را تغذیه می‌کردند، صورت می‌گرفت. این تنظیم کردن‌ها بر مبنای میزان اکسیژن موجود در گازهای احتراق انجام می‌شد.

کوره ۳۳۰ روز در سال فعال بود و میانگین هزینه الکتریسیته که در همان مکان تولید می‌شد برابر ۱/۹ پوند بر هر کیلووات ساعت بود.

کوره طی مدت یکسال و تحت ID قبل از نصب، بررسی مصرف توان سیستم فن شرایط سرعت ثابت همراه با کنترل دستی دمپرها انجام شد. سپس بعد از به کارگیری معکوس کننده بررسی‌های فوق برای مدت یک ماه دیگر ادامه یافت.

داده‌های مربوط به زمان قبل از نصب معکوس کننده: مصرف ۱۵۰/۹۲ کیلووات ساعت طی مدت ۶۵۵۸ ساعت

داده‌های مربوط به زمان بعد از نصب معکوس کننده: مصرف ۴۴/۶ کیلووات ساعت طی مدت ۷۴۲ ساعت

میزان پیش‌بینی شده صرفه‌جویی سالانه: ۶۹۷۲۴۷ کیلووات ساعت به ارزش ۱۳۲۴۸ پوند.

به علت مدت عملکرد کمی طولانی‌تر FD میزان صرفه‌جویی پیش‌بینی شده برای فن برابر با ۱۵۰۰۰ پوند بود.

معکوس کننده‌ها که بر روی موتورهای موجود نصب شدند ۴۵۰۰۰ پوند هزینه در برداشتند. با در نظر گرفتن هزینه نصب به مقدار ۹۰۰۰ پوند، زمان جبران هزینه برای پروژه ۲۳ ماه بود.

د: محرکه با سرعت متغیر در یک واتر پمپ کوچک

(Northumbrian Water Authority) استفاده کننده: مسئولین آب منطقه نور تام برین:

تهیه کننده تجهیزات: شرکت هولدرزورت الکترونیک دیولوپمنتس (Holdsworth Electronic Developments Ltd)

سه سیستم اصلی برای یک ایستگاه پمپ جدید در نظر گرفته شد: یک تقویت کننده هیدرونیوماتیک، یک سیستم پمپ محرکه سرعت متغیر با استفاده از معکوس کننده‌های استاتیک و پمپهای سرعت ثابت. روش کنترل انتخاب شده، یک سیستم محرکه سرعت متغیر بود که در مجموعه پمپ کار می‌کرد، در حالیکه یک مجموعه پمپ سرعت ثابت مشابه به عنوان جایگزین فراهم شده بود.

انتخاب شد که از تجهیزات V-PAC فرکانس ثابت PWM یک معکوس کننده روشن و خاموش ملایم استفاده می‌کرد. (نگاه کنید به شکل ۲۰)

دو مزیت عمده در برداشت: صرفه‌جویی در الکتربسیته به ارزش ۷۳۳ VSD نصب پوند در سال و صرفه‌جویی به میزان ۲۰/۶٪ در مصرف آب به ارزش ۱۰۴۱ پوند در سال که در نتیجه کنترل فشار بهبود یافته بود.

صرفه‌جویی کل بالغ بر ۱۷۷۴ پوند در سال مدت جبران هزینه برابر با ۱۵ ماه را بر اساس سرمایه اولیه ۲۲۷۵ پوند به همراه داشت.

ه: محرکه‌های با سرعت متغیر در فن‌ها و پمپ‌ها

استفاده کننده: شرکت تاون سند هوک، کارخانه کاغذسازی اسنودلند.

(Townsend Hook Ltd, snodland paper Mill)

تهیه کننده تجهیزات: شرکت الکترونیک ان‌ای‌آی (NEI Electronics Ltd)

۷۵ ابتدایی بر روی ماشین پوشش KVA محرکه‌های فن: سه عدد معکوس کننده دهنده که فن‌های هوایی گردش مجدد هود را خشک می‌کرد، نصب شدند. به سبب تغییر در برنامه‌ریزی‌های مربوط به حرارت برای هودهای خشک کننده، تقاضای هوای داغ کاهش یافت و حین کارکرد عادی، دمپرهای مدار هوا تقریباً به کلی بسته بودند. موتورهای چهار قطبی (۱۵۰۰ دور در دقیقه) ۱۱۱ کیلوواتی ابتدایی توسط موتورهای شش قطبی (۱۰۰۰ دور در دقیقه) ۴۵ کیلوواتی جایگزین شدند. با این وجود، حتی با این کاهش سرعت، دمپرهای هوا هنوز تا حدی بسته مانده بودند.

۷۵ kVA پس از آزمایشات موفق، هر یک از سه موتور فن به یک معکوس کننده تجهیز شدند.

در ابتدا موتورهای ۴۵ کیلوواتی هر یک ۳۰ کیلووات مصرف داشتند، و این در حالی است، میانگین مصرف قدرت به ۱۰ کیلووات VSD بود که دمپرها کمی بسته بودند. بانصب کاهش یافت. بر مبنای میانگین هزینه انرژی سالانه به میزان ۲۲۵ پوند بر کیلووات، مدت زمانی تقریباً برابر با ۱۴ ماه برای جبران هزینه نصب ۵۲۵۰ پوند برای هر معکوس کننده طول می‌کشد.

محركه‌های پمپ: حین شروع به کار یک ماشین تولید کاغذ یا پس از پاره شدن یک باند کاغذ، کاغذ ضایع شده به وجود می‌آید و بازیافت، کوبیده و دوباره به کارخانه فراهم کننده مواد اولیه پمپاژ می‌شود. همه پمپها می‌بایست برای مقدار ماکزیمم جریان تنظیم شوند که معمولاً فقط هنگامی که ماشین در حال نخ‌گذاری است، اتفاق می‌افتد. با این وجود، گرچه کاغذ ضایع شده در مواقع دیگر به کمترین مقدار می‌رسد، سیستم گردش مجدد تخلیه معمولاً در جریانی نزدیک به جریان کامل کار می‌کند.

دو عدد از موتورهای پمپ که یکی دارای توان اسمی ۷۵ کیلووات و دیگری ۳۷/۵ کیلووات است، با استفاده از معکوس کننده‌هایی که متناظراً دارای مقادیر ۵۰ می‌باشند، کنترل می‌شوند. این موتورها توسط روش کشف ۱۰۰ KVA و KVA اسمی سطح حفره کنترل می‌شوند. این سیستم منجر به صرفه‌جویی کل حدود ۷۴ کیلووات می‌گردد. بر مبنای میانگین هزینه‌ای برابر با ۲۲۵ پوند بر کیلووات در هر سال، مدت زمان جبران هزینه برای نصب معکوس کننده که ۱۲۵۰۰ پوند هزینه در بر دارد تقریباً ۹ ماه است.

پس از آن، پمپهای دیگر بر مبنای مدت زمان پیش‌بینی شده کمتر از یک سال برای جبران هزینه، با معکوس کننده‌هایی تجهیز شدند.

و: محرکه‌های با سرعت متغیر در تأسیسات تبرید

(British Telecom) استفاده‌کننده: مخابرات بریتانیا

(Margaux CVC Ltd) تهیه‌کننده: شرکت مارگوس سی‌وی‌سی

شرکت بریتیش تلکوم از یک مرکز پردازش داده استفاده می‌کند که دارای کامپیوترهایی بزرگ در محیطی که از نظر تهویه هوا کنترل دقیقی بر آن اعمال می‌شود، می‌باشد. بیشترین بار خنک‌کن ساختمان برابر با ۶۶۸ کیلووات بود. دو کمپرسور پیچی عمودی بزرگ موجود که یکی از آنها نیاز به تعویض ضروری داشت، غیرقابل اطمینان شناخته شدند.

یک سیستم چیلر پیشنهاد کرد که سه مجموعه موتور و CVC شرکت مارگوس کمپرسور ۳/۵۷ کیلوواتی کاملاً مستقل را به کار می‌گرفت. کمپرسورهای پیستونی قابلیت کار در سرعت‌های بالاتر معادل ۶۰ هرتز را نیز دارند، بنابراین، ظرفیت اضافی که هنگام رخ دادن خرابی در یک ماشین مورد نیاز است، برای کمپرسور به سهولت فراهم می‌گردد.

سیستم از یک معکوس‌کننده فرکانس متغیر با قابلیت شروع به کار ملایم بهره می‌برد. تا ماه آگوست سال ۱۹۸۸، مدت هفت ماه بود که بدون هیچ مشکلی کار می‌کرد. هزینه الکتریسیته هر واحد ۴/۰۲ پوند بر هر کیلووات ساعت در طول روز و ۱/۰۸ پوند بر کیلووات ساعت در طول شب بود. هنگامی که یکی از سیستم‌های کمپرسور جایگزین شد، میانگین صرفه‌جویی ۶۰ کیلووات یعنی CVC پیچی ابتدایی توسط سیستم معادل ۱۹/۴٪ به دست آمد و به میزان ۱۷۸۴۵ پوند در سال در هزینه انرژی صرفه‌جویی شد. با افزودن صرفه‌جویی مربوط به بیشترین تقاضا به این مقدار، کل میزان صرفه‌جویی برابر با ۱۸۳۶۱ پوند در سال خواهد بود.

از آنجا که در هر حالت به یک کمپرسور جایگزین نیاز بود، هزینه جانبی سیستم در محاسبات مربوط به زمان جبران هزینه مورد استفاده واقع شد. با CVC مارگوس سرمایه ۲۹۰۰۰ پوند و هزینه کار فیزیکی ۵۰۰۰ پوند برای نصب، هزینه جانبی به ۱۹۰۰۰ پوند رسید. در خواسته‌های دیگری که تابع شرایط مکانی بوده و از طرف استفاده‌کننده انجام گرفت، کل هزینه را تا مبلغ ۲۴۳۴۷ پوند رساند. مدت زمان لازم برای جبران هزینه بر مبنای سرمایه ۲۴۳۴۷ پوند و صرفه‌جویی ۱۸۳۶۱ پوند در سال تقریباً برابر ۱۶ ماه بود.

ز: موتورها و محرکه‌ها در ماشین‌های دوخت (چرخ‌های خیاطی)

(Derby Nyla, Ltd) courtaulds استفاده‌کننده: در بی‌نایلا (شرکت کورتولدز)

تهیه کننده تجهیزات: شرکت الکتریکی میتسوبیشی انگلستان از طریق توزیع کننده QED محلی، شرکت

استفاده کننده تولید کننده پارچه در ترکیبهای متنوع الیاف طبیعی و مصنوعی می‌باشد. هر پارچه مستلزم سرعت ماشین بافندگی مختلفی است و برای اطمینان از طرح هماهنگ و کیفیت خوب، سرعت ماشینها را می‌بایست به دقت کنترل نمود.

موتورهای القایی با حلقه‌های لغزان که مجهز به طبلك‌های محرک برای ایجاد امکان انتخاب دسترسی سرعت صحیح هستند، در ابتدا روی ماشینها نصب شدند.

در سال ۱۹۸۶ استفاده از معکوس کننده‌های فرکانس به عنوان راهی برای بهبود راندمان انرژی مورد بررسی قرار گرفت. شرکت میتسوبیشی الکتریک به صورت وامی دو در اختیار مشتری قرار دارد که (Freqrol) فرکرول PWM ماهه یک معکوس کننده دارای قابلیت راه‌اندازی ملایم بود و به یک موتور قفس سنجابی ۷/۵ کیلوواتی بروک اتصال داشت. (Brook Crompton Parkinson) کرامپتون پارکینسون

بر مبنای زمان تولید استاندارد ۱۲۰ ساعت در هفته پس از اندازه‌گیری‌های متعدد مصرف در محل، محاسبه شد که مدت جبران هزینه‌ای تقریباً برابر با ۱۰ ماه قابل دستیابی بود.

تعداد بیست دستگاه معکوس کننده و موتور توسط مهندسين شرکت در اواخر سال ۱۹۸۶ نصب شد. یک مجموعه دیگر به عنوان جایگزین در نظر گرفته شد. کنترل سرعت نیز PWM دور در دقیقه بهبود یافت. همچنین سیستم $1 \text{ rpm} \pm$ تا دقتی برابر با مشخصات گشتاوری قابل قبول در سرعت پایین از خود نشان داد.

نتایج مربوط به ۱۸ ماه بررسی نشان داده است که میزان صرفه‌جویی در انرژی تقریباً ۱۸۰۰-۸۰۰ بود. در سرعت پایین، جریان گرفته rpm برابر با ۶۶-۵۰٪ در محدوده سرعت ۸/۶ به ۲/۷ آمپر کاهش یافته است، در حالیکه در سرعت‌های A شده توسط موتورها از بالا، این کاهش از ۱۲/۱ به ۶/۲ آمپر بوده است. در نتیجه نصب معکوس کننده‌ها، کاهشی ۵۰ در بیشترین تقاضا ایجاد کرده است که زمان جبران هزینه را به ۱۴/۴ ماه KVA برابر کاهش داده است.

استفاده کننده مزبور اکنون در حال بررسی استفاده از معکوس کننده‌های فرکرول (Freqrol) بر روی موتورهای ۷/۵ کیلوواتی در تعداد ده مکان کاری دیگر است.

اطلاعات جانبی

۱۱- آنچه می‌بایست انجام داد

منابع متعددی برای کسب راهنمایی وجود دارند. این منابع شامل تهیه کنندگان می‌باشند. ETSU تجهیزات، شبکه کارشناسان منطقه‌ای راندمان انرژی و داشتن فهرستی از جزئیاتی که تهیه کنندگان به آن احتیاج پیدا خواهند کرد، سودمند است. مثال‌هایی از اطلاعاتی که ممکن است درخواست شوند در ادامه این بخش گنجانیده شده‌اند.

۱-۱۱- منابع کمکی

(REEO) کارشناسان منطقه‌ای راندمان انرژی:

دوازده مرکز منطقه‌ای راندمان انرژی در سرتاسر بریتانیا وجود دارد که می‌توانند اطلاعاتی درباره موضوعات متنوعی مربوط به راندمان انرژی در اختیار شما قرار دهند. این مراکز دارای دانشی از صنایع آن منطقه هستند و توانایی کمک در رابطه با موضوعاتی که به تکنولوژی موتورها و محرکه‌ها مربوط است را دارا می‌باشند. برای اطلاعات بیشتر در ، با اداره راندمان انرژی با تلفن ۰۱۲۷۳۳۰۰۰ تماس حاصل نمایید. REEO مورد شبکه

(ETSU) واحد حمایت تکنولوژی انرژی:

از جانب اداره راندمان انرژی، مجموعه‌ای از پروژه‌های تحقیقاتی توسعه‌ای و ETSU نمونه در زمینه موتورها و محرکه‌ها را اداره می‌کند. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد این با شماره تلفن ۴۳۶۷۴۷ ETSU پروژه‌ها با دایره استعلام (۰۲۳۵) تماس حاصل نمایید.

(ESI) صنایع تأمین الکتریسیته:

و خصوصاً کمیته الکتریسیته منطقه می‌تواند شما را در باره جنبه‌های استفاده ESI کارآمد و به صرفه از الکتریسیته راهنمایی کند. علاوه بر این، یک طرح اعطایی وجود دارد که اگر مناسب باشد می‌تواند موتور و کنترل کننده‌ها را تشریح کند. این کمیته همچنین می‌تواند درباره هر مشکل در ارتباط با نصب یا عملکرد موتور و یا محرکه، شما را یاری کند.

تهیه کنندگان تجهیزات:

تهیه کنندگان تجهیزات مجموعه متونی منتشر می‌کنند که با اطلاعات مفید خود در انتخاب سیستم به شما کمک می‌کنند. با استفاده از یک تهیه کننده که می‌تواند به شما پیشنهاد دهد، VSD و یا انواع مختلف ac یا dc سیستم‌های متعددی را مانند امکان همه جانبه بودن انتخاب شما به میزان زیادی افزایش می‌یابد.

مشاوران:

بعضی از مهندسان مشاور در زمینه موتورها و محرکه‌ها تخصص دارند و برای راه‌اندازی تجهیزات بزرگ، استفاده از خدمات آنها ارزش دارد. راه دیگر، تماس با مهندسان بیمانکار برق است که در زمینه فوق تخصص دارند. گرچه ممکن است آنها فقط در محدوده کوچکی از تجهیزات تجربه داشته باشند.

تهیه کنندگان نرم افزار

را قبل از VSD استفاده از مدل‌های کامپیوتری امکان سنجش سیستم‌های مختلف خرید دستگاهها میسر می‌سازد. چنین مدل‌هایی توسط بسیاری از تهیه کنندگان تجهیزات مورد استفاده قرار می‌گیرند. ولی اکنون نرم‌افزارهای بی‌بدیلی در دسترس هستند که به استفاده کنندگان اجازه می‌دهد تا به بررسی راه‌حل‌های موجود بپردازند.

شامل ac مجموعه برنامه‌هایی که در برگیرنده چندین شبیه‌ساز مدل محرکه‌های ، معکوس کننده‌های منبع ولتاژ و جریان، وارونه کننده‌های چرخه‌ای و محرک‌های PWM القایی خازن است، در دسترس می‌باشند. توصیه می‌شود قبل از تصمیم در مورد پکیج‌های نرم‌افزاری لازم، در مورد انتخاب سیستم محرک دقیق‌تر شوید. این نرم‌افزارها شامل مدل‌هایی از تک تک سیستم‌های محرک در حالت کاملاً پایدار می‌باشند که به کامپیوتر اجازه می‌دهند تا چنان عمل کند که گویی همان سیستم محرک واقعی است.

مدل‌ها می‌توانند به بررسی مقاومت و عکس‌العمل مدار، تلفات قدرت و سرعت لغزش موتور بپردازند. عکس‌العمل سیستم محرکه در برابر تغییرات ورودی را می‌توان مشاهده کرده و پارامترهایی نظیر ولتاژ، سرعت، نرخ توان و راندمان‌های سیستم را تغییر داد. نمودارها و جداول داده‌ای اغلب در قالب چنین برنامه‌هایی ایجاد می‌شوند.

برنامه‌هایی وجود دارند که می‌توانند مقادیر صرفه‌جویی در انرژی و بهینه‌سازی‌های ضریب قدرت را برای موتورهای القایی با بارگذاری سبک پیش‌بینی کنند، اغلب ورودی‌های برنامه مستلزم لغزش اسمی، راندمان و اطلاعات ضریب قدرت برای موتور و جزئیات مربوط به نیازهای گشتاور بار است.

۱۱-۲- اطلاعات مورد نیاز تهیه کننده:

اطلاعاتی که ممکن است تهیه کننده به آنها احتیاج داشته باشد از این نوعند:

رفتار سیستم، مشخصات موتور / محرک و نیازهای بار.

رفتار سیستم: می‌بایست اثر سیستم الکتریکی بر روی موتور / محرک و اثر عکس را مدنظر

قرار داد. این موارد عبارتند از:

- سرعت
- گشتاور در کل محدوده
- راندمان
- ضریب قدرت

- راکتانس (حالت پایدار و گذرا)

مشخصات موتور که مهم می‌نمایند عبارتند از:

- ولتاژ سیستم و تغییرات آن
- فرکانس سیستم و تغییرات آن
- اثر جریان راه‌اندازی بر ولتاژ
- اثر قدرت راکتیو (KVA)
- اثر مقادیر گذاری ولتاژ سیستم بر موتور / محرک.

نیازهای بار: داده‌های لازم عبارتند از:

- نیازهای سرعت
- نیازهای گشتاور در کل محدوده
- نوع بار و چرخه‌های نمونه
- اثر مقادیر گذاری سیستم بر روی بار.

فرم پرسشنامه در مورد معکوس کننده:

ها نظر خواهی کنید، ممکن VSD هنگامی که مایلید از یک تهیه کننده مثلاً درباره است پرکردن یک فرم پرسشنامه لازم باشد، انواع اطلاعاتی که ممکن است لازم باشد عبارتست از:

- کاربرد
- اندازه موتور (kw)
- جریان (A)
- سرعت موتور (rpm)
- محدوده سرعت لازم
- ولتاژ ورودی معکوس کننده (V)
- ولتاژ ورودی موتور (V)
- چرخه مقرر شده
- میزان شیب بالا (ثانیه)
- میزان شیب پایین (ثانیه)

- کنترلهای لازم محلی یا راه دور
- شاسی یا جعبه
- دمای محیط (°C)
- رطوبت (%RH)
- مشخصات یا نیازهای خاص
- کمیت
- موعد نیاز

۱۲- فهرست منابع

- ۱- کاهش هزینه‌های انرژی از طریق محرکه‌های موتور فرکانس متغیر، افادی فیشر و سی‌دی‌هو. تولید هیدروکربن‌ها. صفحات ۲۳۶ - ۲۳۱، سپتامبر سال ۱۹۷۹.
 - ۲- صرفه‌جویی در انرژی با فنهای سانتریفوژ و کنترل کننده حجم متغیر (اختناق دیسک)، گزارشی از ارائه مطالب تکنیکی جی‌ای‌سی. برایتون، ۹ ژوئن ۱۹۸۳.
 - ۳- جنبه‌های اقتصادی به کارگیری محرکه‌های سرعت متغیر بر روی پمپهای سانتریفوژ. سال ۱۹۸۱، C108/81 ج.ا.بی. آی‌مک‌ای. مقاله
 - ۴- صرفه‌جویی در انرژی با محرکه‌های سرعت متغیر بر روی پمپهای سانتریفوژ جی.بوشمان. مجله کانون. اداره راندمان انرژی. ماه می ۱۹۸۸.
 - ۵- کاربرد پمپ در صنایع نفت و صنایع شیمیایی. ج.ک. آرمینتور، دی پی کونرز. ترجمه شماره ۱، ژانویه / فوریه سال ۱۹۸۷، IA-23 از کاربردهای صنعتی جلد IEEE
 - ۶- سردکردن، ام‌ادی. مدیر انرژی، صفحات ۲۵ و ۲۶ ژوئیه / آگوست ۱۹۸۸.
 - ۷- چگونه سیستم‌های هوای فشرده صنعتی طراحی کنیم که در انرژی صرفه‌جویی کنند؟ ای‌ام‌تالبوت، هیدرولیک و پنوماتیک. صفحات ۱۳۸-۱۳۵ ژانویه ۱۹۸۶.
 - ۸- محرکه‌های سرعت متغیر. ام‌میلز. تبرید، تهویه مطبوع و بازیابی حرارتی. صفحات ۱۹ و ۲۰ فوریه ۱۹۸۷ (قسمتهای ۲ و ۳ و ۴ را نیز در نسخه‌های مارس، آوریل مه ببینید).
 - ۹- پمپ‌های حرارتی با محرک معکوس کننده، اچ، هالزون و دیگران، تجربه و بررسی سیستم‌ها و واحدهای پمپ حرارتی. مرکز پمپ حرارتی آی.ای، ۱ ماه مه ۱۹۸۸.
 - ۱۰- کاهش هزینه‌های انرژی در تبرید سوپرمارکتها. (اقتباس) پی.ج. کوپر تبرید، تهویه مطبوع و بازیابی حرارتی. صفحات ۴۴ و ۴۶ و ۴۸ فوریه ۱۹۸۷.
 - ۱۱- نگهداری انرژی از طریق کنترل. اف جی شینسکی. انتشارات علمی، نیویورک ۱۹۷۸.
 - ۱۳- کتاب‌نامه
- موضوعات عمومی:
- مقدمه‌ای ابتدایی برقابلیت اعتماد. جی‌دابلیو. ا. دامر، آرسی وینتون. ویرایش سوم. انتشارات پرگامون، آکسفورد، ۱۹۸۶. موتورهای الکتریکی کارآمد از نظر انرژی. ج. سی. آندریاس. انتخاب و کاربرد. مارسل دکر. نیویورک ۱۹۸۲.
- راهنمای انرژی برای انتخاب و استفاده از موتورهای چند فاز. آنون، چاپ استاندارد ز. انجمن ملی تولید کنندگان لوازم الکتریکی. واشنگتن دی‌سی. ایالات MC ۱۹۸۳-۱۰. متحده، ۱۹۸۳.

بهبود راندمان انرژی در محرک‌های موتور، بی.دی. مال‌لیو و بی‌بیتمن. مجله مهندسی قدرت، صفحات ۳۰۳-۲۹۹ سپتامبر ۱۹۸۷. آینده محرک‌های فرکانس متغیر، ک.ک. شوارتز، مجله مهندسی قدرت، صفحات ۷۷-۷۱، مارس ۱۹۸۸.

محدوده محرک‌های سرعت متغیر استفاده کننده از موتورهای سنکرون بدون جاروبک، پی.ج. هابز و دی.اچ.دالب. مجله مهندسی قدرت، صفحات ۱۹۴-۱۸۹، ژوئیه ۱۹۸۸.

مجلات مفید:

محرک‌ها و کنترل کننده‌ها (ماهنامه)، چاپ شرکت کامتک چاپ، نورت داوون هاوس، SMS-4LF شماره ۲.۱ استنلی رود، کارشالتون. سری.

فن‌ها:

کاهش هزینه‌های کارکرد در سیستم‌های محرک هوا، دی.آی.پی.گاتلی. مجله ASHRAE، صفحات ۵۱-۴۹، سپتامبر ۱۹۸۲. پرداختن به هوایی تمیر. تی. آدکینز. مدیر انرژی، صفحات ۲۰ و ۱۹، ژوئیه / آگوست ۱۹۸۸.

بازده ماشین‌های قدرت الکتریکی، فن‌های مخصوص ار.بیربور. انرژی. جلد چهارم صفحات ۴۶۱-۴۵۷، ۱۹۷۹. با استفاده از فن‌های سرعت متغیر برای تهویه مطبوع در انرژی صرفه‌جویی می‌شود. اچ.یانگ، محرک‌ها و کنترل‌ها، صفحات ۸۲ و ۸۵، نوامبر ۱۹۸۶.

پمپ‌ها:

پیشرفت در پمپ‌های مایع غلیظ، اس. اودرواز، پینیاک و ک. استیل. قسمت یک، مهندسی شیمی، صفحات ۳۴ و ۳۵ و ۳۷، فوریه ۱۹۸۶. قسمت دو، مهندسی شیمی، صفحات ۲۳-۳۰، مارس ۱۹۸۶. رسیدن به بهترین تغییر سرعت، ار.الکساندر. حرارت و تهویه مطبوع، مجله، صفحات ۲۴ و ۲۷، دسامبر ۱۹۸۸.

تجهیزات تبرید:

اثرات تنظیم ظرفیت بر عملکرد سیستم‌های پمپ حرارتی بخا متراکم، گزارش ، دانشگاه وارد E3، در مورد کاربردهای صنعتی پمپ‌های حرارتی مقاله BHRA سمپوزیم ، کرانفیلد ۱۹۸۲. BHRA یک، مارس ۱۹۸۲، انتشارات

سی‌وی‌سی. یک سیستم کنترل ظرفیت و سرعت، ام. کرینر و آر. مورس. تبرید، تهویه مطبوع و بازیافت حرارت، صفحات ۶۰-۵۷، می ۱۹۸۷، صفحات ۷۵-۶۵ ژوئن ۱۹۸۷.

آنون. استفاده اقتصادی از نیروگاه تبرید. کتابچه بازده سوخت شماره ۱۱. اداره بازده انرژی، لندن، ۱۹۸۶.

کمپرسورهای درزبندی شده، تاریخچه، بی. کارل و ان. ج. جوسیاسن. جلسه دلفت، ۱۹۷۸. ITR و B2 کمیسیون

صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌های تجاری با محرک‌های دارای سرعت قابل تنظیم. در مورد کاربردهای صنعتی، جلد ۲۴، شماره ۳، مه / IEEE ج. اچ. اتو. ادی اکمیدا ترجمه ژوئن ۱۹۸۸.

اقتصادی:

مدل تحلیل جایگزینی ساختمان با هزینه مرحله‌ای، جی. ام. مونتاک. مجله ، صفحات ۴۴-۳۹، آگوست ۱۹۸۱. ASHRAE

ارزیابی نگهداری انرژی: نرخ بازیافت در مقابل روش هزینه مرحله‌ای با ارزش کنونی، صفحات ۵۵-۵۲، نوامبر ۱۹۸۱. ASHRAE جی. ام. موناگ و جی. ای. لمپ. مجله عملکردهای کارآمد از نظر انرژی در سیستم‌های قدرت الکتریکی. جین. در: تلاشهایی برای نگهداری انرژی. گزارش کنفرانس بین‌المللی نشر پرگامون، آکسفورد، ۱۹۸۳.

مدیریت اقتصادی: اس. اچ. آرچر، جی. ام. کویت و جی. راست. ویرایش دوم. شرکت جان وایلی و پسران. نیویورک، ۱۹۸۳.

۱۴- پیوست‌ها

پیوست ۱
واژه‌نامه

جریان متناوب- جریانی که در آن فرکانس سیستم بین مقادیر مثبت و منفی تغییر می‌یابد.

اسنکرون - ماشینی که در آن ولتاژ ثابت است و سرعت ممکن است تغییر کند. جاروبک- جاروبکهای الکتروگرافیتی که با کموتاتور تماس لغزشی داشته و در انتقال جریان به روتور مورد استفاده قرار می‌گیرند. ضریب عملکرد: روشی برای اندازه‌گیری راندمان یک دستگاه تبرید که نسبت حرارت دفع شده از جسم سرد به کار انجام شده توسط ماشین می‌باشد. کموتاتور- میله‌های مسی گوه‌ای شکل که تحت کشش سخت قرار گرفته‌اند و به روتور متصلند که بر روی آن جاروبکهای کربنی سوار می‌شوند تا جریان را به روتور انتقال دهند.

کموتاتور، حلقه‌های لغزشی و جاروبکها- وسایلی که در انتقال جریان بین روتور و واحد کنترل مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سیم‌پیچی مضاعف- موتوری با چند بوبین تحریک به صورت سری و باقیمانده بوبین‌ها به صورت موازی با آرمیچر.

کنتاکتور (اتصال دهنده) - وسیله قطع و وصل جریان که با سولونوئید الکترومکانیکی کار می‌کند.

تلفات مس - تلفات به علت عبور جریان از هادیهای مسی.

تلفات جریان سرگردان - تلفات به علت جریانهای گردابی که در لایه‌های هسته آهنی ایجاد می‌شوند، (جریان فولکو هم نامیده می‌شود).

چگالی شارژ الکتریکی- کمیت مربوط به بار الکتریکی قرار گرفته در یک دی الکتریک در نتیجه بکارگیری یک میدان الکتریکی.

- توسعه یافته توسط شرکت فرورد الکترونیک: ریز پردازنده‌ای (Fair ford) نوع فرورد که بیانگر کنترل کننده خود مدرج بدون انحراف و NASA بر مبنای توسعه اصلی سرعت ثابت قابل اعتماد می‌باشد.

چگالی شارژ- کمیت برداری که بر روی حلقه جریان مسطح گشتاور ایجاد می‌کند.

چهار قطبی - ماشینی با چهار قطب مغناطیسی که سرعت موتور را مشخص می‌کند. هارمونیک - یک موج غیر سینوسی پیچیده که از مؤلفه‌های سینوسی به نام هارمونیک تشکیل شده است و دارای فرکانسهایی می‌باشد که مضارب صحیح از فرکانس اصلی هستند.

dc یا ۱۵۰۰ ولت ac ولتاژ بالا- ولتاژ بیشتر از ۱۰۰۰ ولت

تلفات هیستریزیس- تلفات در موتور به علت مشخصات هسته فولاد / آهن که به کیفیت آهن بستگی دارد.

جریان القایی - جریانی که در یک سیم‌پیچ به علت حرکت یک شارژ مغناطیسی نسبت به آن، تولید می‌گردد.

تبدیل شده باشد. ac که به جریان dc معکوس شده - جریان

تلفات آهن - به علت هیستریزیس و جریانهای سرگردان.

راندمان آیزنتروپیک - با فرض تراکم کامل

- میزان کیلوولت - آمپر ساعت راکتیو که یک بیانگر از ضریب قدرت سیستم KVArh است.

یا ac ولی کمتر از ۱۰۰۰ ولت dc یا ۱۲۰ ولت ac ولتاژ پایین - معمولاً بیشتر از ۵۰ ولت

بین هادیها و زمین. dc یا ۹۰۰ ولت ac بین هادیها و یا ۶۰۰ ولت dc ۱۵۰۰ ولت

مدل ریاضی - یک نمایش ریاضی از رفتار لازم یا مورد انتظار برای یک وسیله کنترل شده.

سیستم‌های موتور و محرکه - شامل یک موتور و یک کنترل کننده است که یک خروجی متغیر از موتور حاصل می‌شود.

میدان مغناطیسی متحرک- میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط حرکت سینوسی جریانه‌ها در سیم‌پیچی‌ها.

-کنترل کننده ضریب قدرت موتور سرعت ثابت که از یک کنترل NASA نوع

الکترونیک برای تنظیم مداوم خروجی موتور با نیازهای باری آن استفاده می‌کند. توسط

در ایالات متحده توسعه یافت و اصولاً بر مبنای همبستگی بین ضریب توان NASA

موتور و بار آن استوار است.

- تولید کننده اصلی تجهیزات OEM.

بار حداکثر به بار نرمال - زمانی از روز که الکتریسیته با نرخ ارزان شارژ می‌شود.

شکل موج خروجی - شکل ولتاژ خروجی که برای دست‌یابی به بهترین نتایج می‌بایست تا حد امکان سینوسی باشد.

نقطه تحویل - موقعیتی که در آن الکتریسیته توسط مسئولین منطقه در دسترس قرار داده می‌شود.

خازن‌های قدرت - اینها معمولاً خازنهای استاتیک هستند و جریان مغناطیس‌کننده که از جریان تحویلی توسط بارهای القایی نظیر موتورها، کوره‌ها و غیره ایجاد می‌شود را کاهش می‌دهند.

- عبارتی که در نوع خاصی از معکوس‌کننده‌های فرکانسی (PWM) تغییر پهنای ضربان مورد استفاده در کنترل موتور با خروجی ولتاژ و فرکانس متغیر به کار می‌رود. راکتیو- بدون وات: هنگامی که جریان نسبت به ولتاژ به میزان ۹۰ درجه تأخر یا تقدم فاز دارد.

ترمز بازایی - مورد استفاده در سیستمهای کنترل ولتاژ قابل تنظیم برای امکان متوقف را به حرکت درمی‌آورد. dc در حالیکه یک ژنراتور ac کردن سریع یک موتور سنکرون سیم‌پیچی مجدد - جایگزین کردن سیم‌پیچ‌های کنونی موتور با سیم‌پیچی‌های جدید. مقاوتی القایی و ظرفیتی انواع بار که در آن سیکل جریان با سیکل ولتاژ برای بارهای مقاومتی هم فاز بوده و برای بارهای القایی، جریان نسبت به ولتاژ تأخیر فاز دارد و برای بارهای ظرفیتی جریان نسبت به ولتاژ تقدم فاز دارد.

مجموعه ژنراتور و موتور دوار - ترکیبی از یک موتور که یک ژنراتور را به حرکت در آورده، ولتاژ و فرکانس خروجی خاصی ایجاد می‌کند.

سیم پیچی سری - بوبین‌های تحریک با آرمیچر (روتور) سری شده اند

سیم پیچی شنت - بوبین تحریک با آرمیچر روتور موازی شده اند

ac موج سینوسی - الگوی ولتاژ

- یک معکوس‌کننده فرکانس هنگامی (CSI) معکوس‌کننده منبع جریان شش مرحله ای

با تحویل مرحله dc متغیر تبدیل می‌شود. پس ولتاژ dc که ولتاژ تحویلی به یک ولتاژ ای شکل موج جریان به موتور به فرکانس متغیر تبدیل می‌یابد.

شکاف - شیارهای ایجاد شده در روتور و یا روتور استاتور که سیم‌پیچ‌ها در آنها قرار داده می‌شوند.

تعداد شکافها و شکل ظاهری دندانه / شکاف - ملاحظه طراحی برای کمینه کردن تلفات سرگردان.

شروع به کار ملایم - ولتاژ کاهش یافته قابل تنظیم برای شروع به کار موتور با شتاب یکنواخت و هموار.

موتور قفس سنجابی - موتور القایی که در آن هادی‌های سیمی روتور و درپوشها بدون هیچ ارتباط الکتریکی خارجی، شرایط کاری یکسانی دارند.

یکسو کننده استاتیک - وسیله‌ای برای تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم بدون هیچ عضو متحرک .

به همان KW و یا KVA ظرفیت تحویل - سطح اسمی تحویل الکتریسیته بر حسب صورتی که بین مشتری و تولید کننده الکتریسیته توافق شده است.

سنکرون - یک ماشین سنکرون، ماشینی است که در سرعت ثابتی کار می‌کند، ولتاژ سرعت سنکرون - سرعتی که در آن شارژ مغناطیسی به دور قطب‌های استاتور موتور می‌چرخد.

سه فاز - یک سیستم تحویل الکتریسیته که منبع ولتاژ آن از سه مؤلفه برداری که باهم ۱۲۰ درجه فاصله دارند تشکیل می‌شود.

تریستور - یک وسیله نیمه هادی که در یکسو کننده‌ها و معکوس کننده‌های کنترل شده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نوع آنسورت - نسل دوم کنترل کننده‌های سرعت ثابت که در بریتانیا توسعه یافته است. منطق قابل برنامه‌ریزی کاربر- نمایش دیجیتالی تصمیم‌گیری که توسط ریزپردازنده‌ها قابل فهم است.

برداری - کمیتی که دارای بزرگی و جهت است و بر روی یک نمودار برداری نشان داده می‌شود.

روتور سیم‌پیچی شده - هنگامی که برای روتور یک سیم پیچی عایق‌بندی شده فراهم می‌شود، ترمینال هر فاز به یک حلقه لغزش روی شفت متصل می‌گردد.

پیوست ۲
تهیه کنندگان تجهیزات کنترل

این پیوست به جزئیات مربوط به تهیه کنندگان تجهیزات کنترل و شرکتهای
اجاره تجهیزات می پردازد.

این فهرست کامل نیست. وجود نام یک سازمان در این فهرست گواهی بر تأیید
نبوده و عدم وجود یک شرکت در این فهرست نیز به EEO توانایی آن توسط موسسه
منزله بی کفایتی آن نمی باشد.

شرکت کرسٹ انرژئ:

3AQ sk12 استیشن رود، استرانیز، استاک پورت ،
تلفن: ۰۶۶۳۶۴۸۳۳ تلکس: ۶۶۶۸۵۰

این شرکت تهیه کننده دستگاههای کنترل و فرستنده قابل حمل برای استفاده در
را می توان PCT3 حساسرسی و برآوردهای مربوط به انرژئ است. دستگاه مانیتور انرژئ
برای کاربردهای متنوع در سیستم نصب کرد و با استفاه از مبدل های مناسب می توان
کیلوولت آمپر، آمپر، دما و جریان سیال را اندازه گیری نمود. نتایج بر روی یک کیلووات،
” PC5 چاپگر یا رسام (پرینتر یا پلاتر) چهار رنگ ظاهر می شوند. دستگاه ”تریلان
وسیله پیچیده تری است که امکانات حافظه بزرگ آن را می توان برای پردازش بیشتر
ارتباط داد. IBM داده ها به کامپیوترهای شخصی سازگار با

شرکت گرت اینسترومنتس (کمبریج)

CB2 IBR بارینگتون، کیمبریج

تلفن: ۰۶۰۸۱۱/۶۲۶۰۰ فاکس: ۰۷۶۳۶۲۴۱۰ تلکس: ۸۱۳۲۸

ارتباط دهنده حافظه سنجایی (۱۲۰۰ سری)

این دستگاه قابل حمل می‌تواند محدوده‌ای از پارامترهای فیزیکی را به صورت مستلزم شبکه‌های ac یا دیجیتال اندازه‌گیری و ثبت کند. سیگنال‌های (dc) آنالوگ میدل می‌باشند. این دستگاه به امکانات انتقال داده کامپیوتری مجهز است. ارتباط دهنده سنجایی را می‌توان به همراه دستگاه رسپاندر ۳ که یک انرژی سنج سه فاز ساخت شرکت رسپانس است، مورد استفاده قرار داد.

شرکت رسپانس:

پی‌آر آی هاوس، مورساید رود، وینال اینداستریال استیت

5023 7RX وینچستر، همپشایر

METERS G ۴۷۷۵۸۳ تلفن: ۰۹۶۲۸۴۰۰۴۸ فاکس: ۰۹۶۲۸۴۱۰۴۶ تلکس:

این شرکت به تولید محدوده وسیعی از محصولات برای اندازه‌گیری، ارتباطات و مدیریت توان الکتریکی از قبیل سری اندازه‌گیرهای رسپاندر برای سیستم‌های تک فاز و سه فاز می‌پردازد. مدل‌های چند منظوره برای ثبت توان و انرژی موجود هستند.

شرکت نورترن دیزاین:

BD3 OQW بولتوون رود، برادفورد 228

تلفن: ۰۲۷۴۷۲۹۵۳۳

این شرکت دستگاه‌هایی قابل حمل و قابل نصب بر تابلو برای اندازه‌گیری توان، های گیره‌دار تا ۵۰۰۰ آمپر موجود هستند. مدل CT انرژی و ضریب توان تولید می‌کند. از یک ثبت کننده شش کاناله نمودار استفاده می‌کند و می‌تواند به ND 306 سیستم‌های کامپیوتری ارتباط از راه دور، اتصال یابد.

HEME شرکت بین‌المللی

یونیت ۱۱، سدون پلیس. استنلی اینداستریال استیت

WN8 8EB اسکر مرسدیل، لانکاشایر

تلفن: ۰۶۹۵ ۲۰۵۳۵ فاکس: ۰۶۹۵۵۰۲۷۹ تلکس: ۶۲۹۷۹۲

این شرکت دستگاه‌ها و وسایلی برای اندازه‌گیری پارامترهای الکتریکی تولید می‌کند که عبارتند از: آمپرمترهای گیره‌دار، واتمتر گیره‌دار، گودی سنج‌های گیره‌دار، جریان گیره‌دار و مبدل‌های جریان.

شرکت آکامپوننت:

CM23 3DP یونیت ۵، ساد تمیل تریدینگ سنتر، بیشاپس استور تسفورد، هرتس

تلفن: ۰۲۷۹ ۵۰۳۱۷۳ فاکس: ۰۲۷۹ ۵۴۴۴۱ تلکس: ۸۱۸۱۴۶

این شرکت دستگاه‌هایی برای کنترل خط در سیستم‌های الکتریکی تک فاز و سه فاز تولید می‌کند. میکروویپ یک تحلیل‌گر قابل حمل است که دارای چاپگر عددی و صفحه نشان دهنده است. هنگامی که از سوی مبدل‌های مناسب تغذیه شود، ده پارامتر الکتریکی را ثبت می‌کند. یک سیستم قابل حمل تحلیل‌گر هارمونیک نیز تولید شده است.

شرکت ادونست انرژی مانیورینگ سیستمز (سیستم‌های کنترل انرژی پیشرفته) دی‌انرژی

11 1NR×E سنتر، فینمور اینداست، اوتری سنت مری، دون

تلفن: ۰۴۰۴۸۱ ۲۲۹۵/۵۴۷۰ فاکس: ۰۴۰۴۸۱ ۲۶۰۳

این شرکت دستگاه یاتسمتر را تولید می‌کند که با استفاده از روش ترمودینامیکی، راندمان هیدرولیکی یک پمپ یا توربین را اندازه‌گیری می‌کند. این امر فقط مستلزم اندازه‌گیری دما و فشار قبل و بعد از پمپ است. دستگاهی برای کنترل چند متغیر توان الکتریکی نیز موجود است.

شرکت سولکس اینترنشنال:

95LE9 6RE مین استرسیت، براوتون استلی، لیلسترشایر

Solex342523 تلفن: ۰۴۵۵ ۲۸۳۴۸۶ فاکس: ۰۴۵۵ ۲۸۳۹۱۲ تلکس:

این شرکت تجهیزات تست و اندازه گیری متنوعی را تهیه می کند که شامل تاکومترهای الکترونیکی برای اندازه گیری سرعت شفت است.

اجاره تجهیزات:

شرکت اوتون هایر:

L33 7XP دیکسون رود، نوسلی اینداستریال پارک (نورت)، کرکبای، لیورپول

تلفن: ۰۵۱ ۵۴۸۰۰۰۰ فاکس: ۰۵۱ ۵۴۹ ۱۴۲۸

آی ارگروپ:

SL3 8AL دورکان هاوس، میدفیلد رود، لنگی، برکسی

تلفن: ۰۷۵۳ ۵۸۰۰۰۰ فاکس: ۰۷۵۳ ۵۸۲۸۴۳

شرکت لیوینگستون هایر:

OLB TW11 لیوینگستن هاوس، ۶-۲ کوینیزرود، تدینگتون، میدلسکس

تلفن: ۰۸۰۰۸۸ ۶۰۰۰ فاکس: ۰۱۹۷۷۶۴۳۱

پیوست ۳
روشهای تحلیل اقتصادی

مزایای سرمایه‌گذاری در موتورها و محرکه‌های کارآمدتر را می‌توان چنین خلاصه نمود:

- صرفه‌جویی در هزینه الکتروسیسته
- کاهش هزینه‌های نگهداری در نتیجه بهبود به کارگیری امکانات.
- بهبود در فرآیند تولید یا محصول در نتیجه کنترل بهتر.

ملاحظات اقتصادی را می‌توان چنین خلاصه کرد:

- هزینه‌های برنامه‌ریزی.
- هزینه‌های مربوط به تهیه تجهیزات
- هزینه لوازم یدکی
- هزینه تغییرات در تجهیزات موجود.
- هزینه کاهش در تولید هنگام نصب تجهیزات.
- هزینه کنار گذاشتن موتور یا محرک موجود یا هر دو.

در هزینه‌های برنامه‌ریزی، سهمی را می‌بایست به ارزیابی سیستم موجود و استفاده احتمالی از مشاوران اختصاص داد. هزینه همکاری‌های داخلی را می‌توان از طریق هزینه جاری پوشش داد. هزینه‌های تهیه شامل خرید و نصب تجهیزات است، در حالیکه هزینه لوازم یدکی ممکن است خرید موتورهای حمایت‌کننده یا تجهیزات الکترونیکی و یا هر دو مورد را برای تضمین جایگزینی سریع در هنگام وقوع خرابی، شامل شود.

مدت زمان جبران هزینه:

اولین تخمین از کارآئی یک پروژه از نظر هزینه را می‌توان با محاسبه مدت زمان جبران هزینه و یا بازگشت سرمایه، بدست آورد. اطلاعات مورد نیاز خیلی ابتدایی و معمولاً به سادگی در دسترس هستند. اطلاعات زیر مورد نیاز است:

- سرمایه و هزینه نصب تجهیزات

- هر نوع هزینه کارکرد اضافی سالیانه (مانند نگهداری)
- صرفه جوئی سالانه در مصرف الکتریسیته کیلووات ساعت
- بهای الکتریسیته (پوند بر کیلووات ساعت)
- عمر تجهیزات (سال)

مدت زمان جبران هزینه از رابطه زیر محاسبه می شود:

هزینه نص

(هزینه کارکرد اضافی - صرفه جویی سالانه در

مزیت اصلی روش ساده زمان جبران هزینه آن است که جریان سرمایه را خارج از مدت زمان جبران هزینه در نظر نمی گیرد. همچنین، موقعیتی برای مقایسه پروژه هایی که مدت زمانهای جبران هزینه مشابهی داشته ولی سود سالانه آنها متفاوت است، وجود ندارد.

برای مثال، ممکن است در یک پروژه در اولین سال کارکرد مبلغ ۵۰۰۰ پوند و در دیگری ۷۰۰۰ پوند صرفه جویی شود. با جابجایی مقادیر فوق در سال دوم برای دو پروژه، کل میزان صرفه جوئی در هر دو یکسان خواهد شد، اما سود بر حسب بازگشت درآمد برای واحدی که در سال اول مقدار ۷۰۰۰ پوند سود داشته، بیشتر است.

در بعضی وضعیت ها، محاسبه ساده مدت زمان جبران هزینه می تواند ارزشمند باشد. اولاً، هنگامی که ممکن است مدت زمان جبران هزینه کوتاه اصل اساسی باشد، چرا که سرمایه گذار فقط برای مدت کوتاهی سرمایه را در اختیار دارد. ثانیاً، هنگامی که سرمایه گذار تمایل به نتیجه سریع دارد و این روش با وجود نقایص آن، در این مورد معتبر است. ثالثاً، اگر پیش بینی مدت زمان عمر مورد انتظار برای تجهیزات دشوار باشد، روش مدت زمان جبران هزینه در ارزیابی احتمال دستیابی به یک سرمایه گذاری موفق، سودمند است.

روش های دقیق تر برای تعیین مدت زمان جبران هزینه و روش های دیگر تحلیل اقتصاد در متون حسابداری که در لیست کتب معرفی شده اند، مورد بحث قرار گرفته اند.

این روش، مخصوصاً پرداخت بهره مربوط به سرمایه قرض گرفته شده را در نظر نمی‌گیرد. هنگامی که تخمین سریعی از اثر این مورد بر مدت جریان هزینه لازم نرخ بهره سرمایه قرض است، می‌توان نمودار شکل (۴۴) را مورد استفاده قرار داد. (گرفته شده است)

مثالی از یک موتور دارای راندمان بالا:

، برای دو موتور که دارای راندمانهای S مقدار صرفه جویی سالیانه در هزینه انرژی، متفاوت بوده ولی بار یکسانی دارند، را می توان با استفاده از معادله زیر محاسبه کرد:

$$S = P \times D \times H \times [(100/E1) - (100/E2)]$$

زمان H هزینه انرژی (پوند بر کیلووات ساعت)، D توان موتور کیلووات، P که در آن راندمانهای دو سیستم مورد مقایسه $E1$ و $E2$ کارکرد سالیانه بر حسب ساعت و هستند.

برای یک موتور القایی چهار قطبی ۱۱۰ کیلوواتی که برای مدت ۶۰۰۰ ساعت در سال با هزینه الکتریسیته ۴ پوند بر کیلووات ساعت کار می کند، مقایسه بین یک موتور استاندارد با راندمان ۹۳٪ (بار کامل) و یک موتور کارآمد از نظر انرژی با راندمان ۹۵/۵٪، نتیجه می دهد:

$$S = 110 \times 0.04 \times 6000 \times \{ [(100/93) - (100/95.5)] \} = \text{£} 743 \text{ / سال}$$

گرچه، برای موتور دارای راندمان بالا هزینه معینی وجود دارد که در مورد واحد ۱۱۰ کیلوواتی برابر ۹۱۸ پوند می باشد. (۴۵۸۷ پوند در مقایسه با ۳۶۶۹ پوند برای موتور استاندارد) بنابراین:

$$= \text{مدت زمان جبران هزینه £} 918 / \text{£} 743 \text{ سال} = 1.24 = 1/24$$

فرض می شود که به یک موتور جدید نیاز است که می تواند از نوع استاندارد یا دارای راندمان بالا باشد.

بازگشت سرمایه:

بازگشت سرمایه. ارزش تجهیزات را در نظر می گیرد و از رابطه زیر محاسبه می شود:

صرفه ج کاهش ارزش تجهیزات $(D) - B$ = بازگشت سرمایه در آن
 بهای A = ارزش D کیلووات ساعت و
 تجهیزات بر طبق ماهیت تجهیزات مشخص می شود.

این روش زمان بندی جریان سرمایه را در نظر ندارد و بر مبنای اصل ارزش ثبت شده ابتدایی استوار است که معمولاً همه هزینه‌ها را شامل نمی‌شود. بنابراین، فقط منجر به تقریبی کم دقت از ارزش سرمایه می‌گردد.

تحلیل چرخه عمر:

روش تحلیل چرخه عمر روشی برای ارزیابی سرمایه‌گذاری است که به جزئیات بیشتری می‌پردازد و خصوصاً به پروژه‌های راندمان انرژی مربوط است. گرچه، این روش به علت توضیحات و تعداد متغیرها، اغلب در آغاز پیچیده است که مستلزم آن نمی‌باشد.

ابتدا می‌پرسیم: چرخه عمر چیست؟ پاسخ به این سؤال را می‌توان توسط چندین عامل بیان کرد:

- عمر کارکرد موتور یا محرکه الکتریکی و یا هر دو.
- عمر کارکرد تجهیزات به حرکت درآمده.
- عمر کارکرد فرآیند و غیره

عمر کارکرد موتور الکتریکی به وضوح به ثبت رسیده است، گرچه بیشتر داده‌ها از کشور ایالات متحده آمریکا می‌باشد. با این وجود، تحلیل دقیق نشان می‌دهد که موتورهای معمولی ۴-۱ کیلوواتی عمر میانگین برابر هفده سال دارند، در حالیکه موتورهای ۱۰۰ کیلوواتی دارای عمر میانگین ۲۸ سال می‌باشند.

در حالتی که عمر کارکرد تجهیزات به حرکت درآورده شده ۵ تا ۱۰ سال باشد، این محدوده را می‌توان برای همه محاسبات چرخه عمر مورد استفاده قرار داد.

هنگامی که عمر مورد انتظار بیش از ۱۵ سال باشد، ممکن است به در نظر گرفتن عمر موتور نیاز باشد که یا با استفاده از اعداد میانبایی شده از میانگین عمر موتورها و یا بر مبنای داده‌های تهیه کننده تجهیزات، به دست می‌آید.

این اعداد، مقادیر میانگین هستند. اگر سیستم تحت شرایط نامطلوب کار می‌کند، می‌بایست آنها را خوش‌بینانه تلقی کرد، عواملی چون بارگذاری بیش از حد و ولتاژ را نیز می‌بایست مدنظر داشت.

تحلیل چرخه عمر، ارزش زمانی سرمایه و تورم هزینه انرژی را در نظر می‌گیرد. و نرخ مورد انتظار تورم هزینه‌های انرژی (R1) بر مبنای دانستن بازگشت سرمایه را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد. (i)، نرخ مؤثر بهره (R2)

$$i = \frac{(1+R1)}{(1+R2)} - 1$$

در معادله زیر محاسبه کرد: ارزش کنونی را می توان با استفاده از

$$Pw = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

عمر کارکرد است. n که در آن

کمیتی با عنوان عامل ارزیابی ارزش کنونی چنین محاسبه می شود:

$$Pw \times H \times PWEF = D$$

ساعات کارکرد در سال H هزینه انرژی (پوند بر کیلووات ساعت) و D که در آن است.

ارزش یا میزان جاری صرفه جویی های چرخه عمر بر مبنای سرمایه گذاری در سیستمی کارآمدتر (در این حالت یک موتور)، با استفاده از معادله زیر قابل تعیین است.

$$Pws = P \times PWEF \times \left[\left(\frac{100}{E1} \right) - \left(\frac{100}{E2} \right) \right]$$

موتوری دارای توان اسمی ۱۱۰ کیلووات و هزینه کارکرد انرژی جاری به مقدار ۰/۰۴ پوند بر کیلووات ساعت است و ۶۰۰۰ ساعت در سال کار می کند. فرض می شود که نرخ ۲۵٪ و عمر مورد انتظار موتور ۸ سال (ROI) تورم انرژی ۷٪، بازگشت سرمایه لازم باشد.

عبارتست از: نرخ مؤثر بهره

$$i = \frac{(1 + 0.25)}{(1 + 0.07)} - 1 = 0.168$$

$$P_w = \frac{(1 + 0.168)^8 - 1}{0.168(1 - 0.168)^8} = 4.23$$

$$PWEF = 0.04 \times 6000 \times 4.23 = 1015.2$$

$$P_{WS} = 110 \times 1015.2 \frac{(100}{93} - \frac{100}{95.5}) = 110 \times 1015.2 \times 0.028 = \text{€}3127$$

در این مثال، ارزش جاری میزان صرفه‌جویی‌ها را می‌بایست با پیشنهاد‌های در
های منتخب مقایسه کرد. PWS حال رقابت سرمایه‌گذاری و بالاترین

پیوست ۴

محرکه‌های معکوس کننده هزینه‌های سرمایه در کنترل کننده‌های موتور و

مقدمه:

اطلاعات راجع به هزینه‌های مربوط به کنترل کننده‌های موتور و محرکه‌های سرعت متغیر معکوس کننده ارائه شده است. این داده‌ها از منابع متنوعی شامل مقالات منتشر شده و لیست قیمت‌های تولید کنندگان جمع‌آوری شده است و مربوط به سالهای ۱۹۸۷ و ۱۹۸۸ می‌باشد.

این داده‌ها در شکل‌های ۴۵ (کنترل کننده‌های موتور) و ۴۶ (معکوس کننده‌های ac) به صورت نمودار ارائه شده‌اند. هزینه مربوط به معکوس کننده‌ها اصولاً برای نوع PWM می‌باشد.

اعداد مندرج قیمت‌ها برای تک خرید می‌باشند. هنگامی که تولید کننده اصلی در خرید موتورها و محرک‌ها دخیل است، ممکن است با تخفیف‌هایی (OEM) تجهیزات قابل ملاحظه توافق حاصل شود. استفاده کننده‌ای که قصد خرید دارد خواهد توانست از توانایی خود در خرید برای کاهش برخی از قیمت‌های واحد استفاده کند.

صنایع موتورها و محرکه‌ها بخشی است که در آن رقابت زیادی وجود دارد. بنابراین، قیمت‌های رقابتی می‌توانند در دست‌یابی به معامله‌ای که دارای جبران هزینه بهتری نسبت به ارقام مندرج در لیست، می‌باشد به خریدار کم کنند.

علاوه بر این، ممکن است تهیه کنندگان تجهیزات برای توافق در مورد تمهیداتی خاص، مهیا باشند. به عنوان مثال، یک تهیه کننده تجهیزات برای شرکتی خصوصاً در آماده کردن آزمایشات در چندین مکان، کمک بسیاری کرد. بر مبنای پرداخت پس از حصول عملکرد رضایت بخش واحدهای بسیار دیگری نیز پیشنهاد شدند.

توجه: اطلاعات ارائه شده فقط مربوط به هزینه سرمایه تجهیزات است یعنی هزینه نصب را شامل نمی‌شود.

پیوست ۵

تولید کنندگان و تهیه کنندگان موتور و محرکه

فهرست اسامی تهیه کنندگان تجهیزات توسط انجمن‌های تجاری در مجلات
فهرستی از تهیه کنندگان سیستم‌های GAMBICA تجاری به چاپ می‌رسد. انجمن
الکترونیکی محرکه سرعت متغیر و تهیه کنندگان سیستم‌های الکترونیکی موتور با
راه‌اندازی ملایم منتشر می‌کند.

با مسئولیت محدود GAMBICA انجمن

لیستر هاوس

لیستر استریت 8

Wc2H 7BN لندن

تلفن: ۰۱۷ ۴۳۷ ۰۶۷۸ فاکس: ۰۱۷ ۴۴۴ ۰۳۹۱