

بسمه تعالي  
آموزشکده فني دکتر علي شريعتي

## روشهاي کاهش مصرف انرژي الکتریکي الکتروموتورها

تهیه کننده:  
احسان طاهري

استاد گرامي: جناب آقاي رستمي

زمستان ۸۵

## مقدمه

موتورها مصرف‌کننده‌های عمده برق در اغلب کارخانه‌ها هستند. وظیفه يك موتورالکتریکی تبدیل انرژی الکتریسیته به انرژی مکانیکی است. در يك موتور سه‌فاز AC جریان از سیم‌پیچ‌های موتور عبور کرده و باعث ایجاد میدان مغناطیسی دوار می‌شود که این میدان مغناطیسی محور موتور را می‌چرخاند. موتورها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که این وظیفه را به‌خوبی انجام دهند. مهم‌ترین و ابتدایی‌ترین گزینه صرفه‌جویی در موتورها مربوط به انتخاب آنها و استفاده از آنها می‌باشد.

## ۱- هرزگردی موتورها

بیشترین صرفه‌جویی مستقیم برق را می‌توان با خاموش کردن موتورهای بی‌بار و در نتیجه حذف تلفات بی‌باری به دست آورد. روش ساده آن در عمل نظارت دائم یا کنترل اتوماتیک است. اغلب به مصرف برق در بی‌باری اهمیت چندانی داده نمی‌شود در حالی که غالباً **جریان در بی‌باری حدود جریان در بار کامل است.**

مثالی از این نوع تلفات را می‌توان در واحدهای بافندگی یافت، جایی که ماشین‌های دوزندگی معمولاً برای دوره‌های کوتاهی کار می‌کنند. اگرچه موتورهای این ماشین‌ها نسبتاً کوچک هستند (۱،۳ اسب بخار) ولی چون تعداد آنها زیاد است (معمولاً تعداد آنها در يك کارخانه به صدها عدد می‌رسد) اندازه این تلفات قابل ملاحظه است. اگر فرض کنیم ۲۰۰ موتور ۱،۳ اسب بخار در ۹۰ درصد زمان هرزگرد بوده و باری معادل ۸۰ درصد بار کامل بکشند، هزینه کار بیهوده موتورها با در نظر گرفتن ۱۲۰ ریال بهای واحد انرژی الکتریکی، به شکل زیر محاسبه می‌شود:

هزینه بی‌باری =  $۲۰۰ \text{ موتور} \times \frac{۱}{۳} \text{ اسب بخار} \times ۸۰\% \text{ بار} \times$

$۶۰۰۰ \text{ ساعت در سال} \times ۹۰\% \text{ بی‌باری} \times ۱۲۰ \text{ ریال} = ۲۵ \text{ میلیون ریال}$

با اتصال يك سوئیچ به پدال چرخ‌ها می‌توان آنها را به‌طور اتوماتیک خاموش کرد.

## ۲- کاهش بازده در کم‌باری

وقتی از موتوری استفاده شود که مشخصات نامی بالاتر از مقدار مورد نیاز را داشته باشد، موتور در بار کامل کار نمی‌کند و در این حالت بازده موتور کاهش می‌یابد.

استفاده از موتورهای بزرگتر از اندازه موردنیاز معمولاً به دلایل زیر است :

- ممکن است پرسنل مقدار بار واقعی را ندانند و بنا به احتیاط موتوری بزرگتر از اندازه موردنیاز انتخاب شود
- طراح یا سازنده برای اطمینان از اینکه موتور توان کافی را داشته باشد، موتوری بسیار بزرگتر از اندازه واقعی موردنیاز پیشنهاد کند و بار حداکثر در عمل به ندرت اتفاق افتد. به علاوه اغلب موتورها می‌توانند برای دوره‌های کوتاه در باری بیشتر از بار کامل نامی کار کنند. (در صورت تعدد این وسایل اهمیت مسئله بیشتر می‌شود)
- وقتی موتور با مشخصات نامی موردنظر در دسترس نیست يك موتور بزرگتر نصب می‌شود و حتی وقتی موتوری با اندازه نامی موردنظر پیدا می‌شود جایگزین نشده و موتور بزرگ همچنان به کار خود ادامه می‌دهد.
- به خاطر افزایش غیرمنتظره در بار که ممکن است هیچگاه هم رخ ندهد يك موتور بزرگتر انتخاب می‌شود.
- نیازهای فرآیند تولیدی کاهش یافته است

در برخی بارها گشتاور راه‌انداز بسیار بیشتر از گشتاور دورنامی است و باعث می‌شود موتور بزرگتر به کار گرفته شوند. باید مطمئن شد هیچ کدام از این موارد موجب استفاده از موتورهای بزرگتر از اندازه و در نتیجه کاهش بازده نشده باشند.

جایگزینی موتورهای کم‌بار با موتورهای کوچکتر باعث می‌شود که موتور کوچکتر با بار کامل دارای بازده بیشتری باشد. این جایگزینی معمولاً برای موتورهای بزرگتر وقتی در  $1/3$  تا نصف ظرفیت‌شان (بسته به اندازه‌شان) کار می‌کنند اقتصادی است.

برای تشخیص موتورهای بزرگتر از ظرفیت مورد نیاز به اندازه‌گیری الکتریکی احتیاج است. وات‌متر مناسب‌ترین وسیله است.

روش دیگر، اندازه‌گیری سرعت واقعی و مقایسه آن با سرعت نامی است. بار جزئی به‌عنوان درصدی از بار کامل نامی را می‌توان از تقسیم شیب (سرعت) عملیات بر شیب بار کامل به‌دست آورد. رابطه بین بار و شیب تقریباً خطی است. معمولاً در این موارد می‌توان برای جلوگیری از سرمایه‌گذاری جدید اینگونه موتورها را با دیگر موتورهای موجود در کارخانه جایگزین نمود که تنها هزینه آن اتصالات و صفحه‌های تنظیم‌کننده هستند. اگر این تغییرات را بتوان همزمان با تعمیرات برنامه‌ریزی‌شده در کارخانه انجام داد بازهم هزینه‌ها کاهش می‌یابد.

### **۳- موتورهای پربازده**

بازگشت سرمایه قیمت اضافی پرداختی جهت خرید موتورهای پربازده، معمولاً کمتر از دو سال کارکرد موتور به‌ازای ۴۰۰۰ ساعت کارکرد سالانه و در ۷۵ درصد بار می‌باشد. (بازگشت سرمایه نسبت به موتورهای قدیمی و غیر استاندارد به کمتر از شش ماه نیز می‌رسد) در مواردی که بار موتور سبک یا ساعت کارکرد آن کم است یا بارهای تناوبی استثنائاتی

وجود دارد. بیشترین صرفه‌جویی در رنج موتورهای ۱ تا ۲۰ اسب‌بخار به دست می‌آید. در توان بیشتر از ۲۰ اسب‌بخار افزایش بازده کاهش می‌یابد و موتورهای موجود بیش از ۲۰۰ اسب‌بخار تقریباً دارای بازده کافی هستند.

سازندگان معمولاً موتورهای با طراحی استاندارد و قیمت تمام‌شده کمتر را عرضه می‌کنند. به خاطر رقابت شدید این نوع موتورها بازده کمی دارند. آنها ضریب قدرت پایین‌تری دارند، قابل تعمیر نبوده و نمی‌توان به راحتی سیم‌پیچ آنها را مجدداً پیچید.

در موتورهای پربازده با استفاده از ورقه‌های استیل نازکتر در استاتور و روتور، استفاده از استیل با خواص الکترومغناطیسی بهتر، استفاده از فن‌های کوچکتر با بازده بیشتر و بهبود طراحی شکاف روتور بازده افزایش یافته است. تمام این روش‌ها باعث افزایش مصرف مواد اولیه و در نتیجه افزایش هزینه مواد یا هزینه‌های ساخت می‌شود و بنابراین قیمت تمام شده موتور زیاد می‌شود. با این وجود ۲۰-۳۰ درصد اضافه هزینه اولیه با کاهش هزینه‌های عملیاتی جبران می‌شود. از دیگر مزایای موتورهای پربازده اثر کم بر عملکرد موتور به هنگام نوسانات ولتاژ و بار جزئی است.

محاسبه بازگشت هزینه این موتورها به خاطر متغیرهای درگیر پیچیده است. برای تعیین هزینه عملیاتی موتور باید توان مصرفی توسط موتور در ساعات کار آن و قیمت انرژی الکتریکی ضرب شود. هر یک از این فاکتورها متغیرهای مخصوص به خود را دارند که شامل تغییر در برنامه زمانبندی تولید، تغییر در بار موتور و جریمه‌های دیمانند می‌باشند. پرداختن به برخی از این عوامل مشکل است.

حتی وقتی میزان صرفه‌جویی محاسبه می‌شود از آنجاکه بازده واقعی یک موتور معمولاً ناشناخته است ممکن است این محاسبات دچار خطا شوند. چون همه سازنده‌ها از تکنیک‌های یکسانی برای اندازه‌گیری بازده موتورها استفاده نمی‌کنند، بنابراین مشخصات نامی درج‌شده بروی پلاک را نمی‌توان با هم مقایسه کرد. به عنوان نمونه در آمریکا منظور بیشتر

سازنده‌ها از بازده نامی رنجی از بازده‌ها است که بازده موتور در آن قرار می‌گیرد. از تکنیک‌های آماری مختلفی برای تعیین حداقل بازده یک موتور با هر بازده نامی استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال یک موتور با بازده نامی ۹۰,۲٪ دارای حداقل بازده نامی ۸۸,۵٪ است.

عده زیادی موتورهای پربازده را بدون اینکه درصد توجیه برگشت هزینه آن باشند، استفاده می‌کنند، مگر در مورد موتورهای بزرگتر. معمولاً مدت بازگشت هزینه تقریباً یک سال است.

بازده موتورها از مشخصات نامی آنها متفاوت است (به‌دست نمی‌آید). مثلاً یک موتور 100-hp.1800-rpm سرپوشیده با فن خنک‌ساز از یک سازنده دارای یک حداقل بازده تضمین‌شده معادل ۹۰,۲٪ در بار کامل در مدل استاندارد و ۹۴,۳٪ در مدل بازده بالا است. موتور همان‌اندازه آن از یک سازنده دیگر دارای همان بازده ۹۰,۲٪ در مدل استاندارد و حداقل بازده ۹۱٪ در مدل بازده بالا است. برای تعیین بازده واقعی یک موتور خاص باید از تجهیزات تست پیچیده‌ای استفاده کرد. به‌خاطر این اختلاف‌ها، به‌هنگام ارزیابی میزان صرفه‌جویی، استفاده از حداقل بازده تضمین‌شده قابل اطمینان‌تر است چون همه موتورها باید برابر یا بزرگتر از این اندازه باشند.

## ۴- درایوهای تنظیم سرعت

وقتی تجهیزات بتوانند در سرعت کاهش‌یافته کار کنند چند گزینه قابل انتخاب است.

مثال‌های ذیل نمونه‌هایی برای همه صنایع هستند

### ۴-۱- موتورهای AC فرکانس متغیر (با تنظیم فرکانس)

وقتی پمپ‌های گریز از مرکز، فن‌ها و دمنده‌ها در سرعت ثابت کار می‌کنند و خروجی با استفاده از والوها و مسدودکننده‌ها کنترل می‌شود موتور صرفنظر از مقدار خروجی در نزدیکی بار کامل کار می‌کند که باعث

می‌شود انرژی زیادی توسط این مسدودکننده‌ها و والوها تلف شود. اگر این تجهیزات بتوانند همواره در سرعت مورد نیاز کار کنند مقدار زیادی انرژی صرفه‌جویی می‌شود. درایوهای تنظیم سرعت باعث می‌شوند تجهیزات با توجه به نیاز سیستم در حالت بهینه عمل کنند.

کنترلرهای AC تنظیم فرکانس (فرکانس متغیر) وسایل پیچیده‌ای بوده و گرانقیمت هستند. با این حال می‌توانند به راحتی به موتورهای القایی AC استاندارد اضافه شوند. با هزینه تجهیزات کمتر و هزینه‌های الکتریکی بیشتر (با کاهش هزینه تجهیزات و افزایش هزینه‌های الکتریکی) کاربرد این وسایل در اغلب موارد اقتصادی می‌شود. بسیاری از انواع پمپ‌ها، فن‌ها، میکسچرها، نقاله‌ها، خشک‌کننده‌ها، خردکننده‌ها (سنگ‌شکن‌ها) آسیاب‌ها، صافی‌ها و برخی انواع کمپرسورها، دمنده‌ها و همزن‌ها در سرعت‌های مختلف با وسایل تنظیم سرعت کار می‌کنند.

تجهیزات مجهز به تنظیم سرعت کمتر از نصف تجهیزات مجهز به مسدودکننده انرژی مصرف می‌کنند.

در عمل باید برای محاسبه دقیق صرفه‌جویی حاصل براساس کیلووات بازده موتور هم در نظر گرفته شود. بازده موتور تا زیر ۵۰ درصد ظرفیت نامی افت می‌کند.

## ۲-۴- درایوهای DC حالت جامد (نیمه‌هادی)

می‌توان با تنظیم سرعت با استفاده از درایوهای DC صرفه‌جویی‌های مشابهی را انجام داد. هزینه اولیه نسبت به درایوهای AC تنظیم فرکانس بیشتر است به خصوص وقتی مستقیماً بتوان از کنترلرهای الکتریکی در موتور AC استفاده کرد. تعمیر و نگهداری کموتاتور و زغال نیز هزینه زیادی در درایوهای DC دربردارد. همچنین سیستم‌های DC نسبت به هوای

خورنده و کثیف (مملو از ذرات) که در يك محیط صنعتي معمول است حساس‌ترند.

بنابراین درایوهای AC معمولاً ترجیح داده می‌شوند مگر در مواردی که شرایط عملیاتی برخی از مشخصه‌های سیستم‌های DC از قبیل تنظیم سرعت خیلی دقیق، معکوس کردن سریع جهت، یا گشتاور ثابت در رنج سرعت نامی مورد نیاز باشد. از این درایوها در ماشین‌های حدیده (drawing machins)، پوشش‌دهنده‌ها (لعب‌دهنده‌ها coaters) ماشین‌های تورق (laminators)، دستگاه‌های سیم‌پیچی (winders) و سایر تجهیزات استفاده می‌شود.

سایر تکنیک‌های تغییر سرعت موتور عبارت است از درایوهای لغزش (slip) الکترومکانیکی، درایوهای سیال. و موتورهای القایی (موتورهای با روتور سیم‌پیچی شده). این درایوها با تغییر درجه لغزش بین درایو و عنصر در حال حرکت سرعت را کنترل می‌کنند. چون قسمتی از انرژی مکانیکی که تبدیل به بار نمی‌شود به حرارت تبدیل می‌گردد این درایوها دارای بازده کمی بوده و معمولاً به خاطر مشخصه‌های خود در کاربردهای خاصی به کار برده می‌شوند. مثلاً ممکن است از درایوهای سیال در سنگ‌شکن‌ها (خردکننده‌ها) استفاده شوند چون دارای ظرفیت توان بالا، انتقال گشتاور آسان، توانایی مقاومت در برابر بارهای شوک، قابلیت مقاومت در سیکل‌های سکون (از کارافتادگی)، ماهیت ایمنی آن و قابلیت تحمل هوای ساینده را دارند.

چون درایوهای AC و DC سرعت چرخنده اصلی را تغییر می‌دهند برای صرفه‌جویی در انرژی ترجیح داده می‌شوند.

## ۳-۴- درایوهای مکانیکی

درایوهای تنظیم سرعت مکانیکی ساده‌ترین و ارزانترین وسایل تغییر سرعت هستند. این نوع چرخ‌های قابل تنظیم می‌توانند در امتداد محور باز و بسته شوند و در نتیجه میزان تماس چرخ را با تسمه تنظیم کنند.



مزیت عمده درایوهای مکانیکی سادگی آنها ، سهولت تعمیر و نگهداری و هزینه پایین آنها است. یک سرویس تعمیر و نگهداری در حد متوسط و کنترل سرعت با دقت کم (معمولاً ۵درصد) از خصوصیات این درایوها است.

درایوهای تسمه‌ای برای گشتاورهای کم تا متوسط (۱۰۰اسب‌بخار) در دسترس هستند. بازده درایوهای تسمه‌ای ۹۵ درصد است و نسبت کاهش سرعت تا ۱۰ به ۱ می‌رسد.

از درایوهای زنجیری فلزی در گشتاور زیاد استفاده می‌شود. این درایوها مشابه درایوهای تسمه‌ای هستند فقط به‌جای تسمه‌های لاستیکی از تسمه‌های فلزی استفاده شده است.

#### **۴-۴- کاهش یک سرعت**

وقتی فقط با یک کاهش سرعت به نتیجه رضایت‌بخش برسیم گزینه ارزانتری را می‌توانیم انتخاب کنیم. اگرچه سرعت‌های متغیر این مزیت را دارند که در وضعیت‌های مختلف می‌توان سرعت بهینه را به‌کار برد، در مواقعی که رنج تغییر سرعت محدود است و زمانی که موتور باید در سرعت پایین‌تری کار کند نسبت به زمان کل کار موتور کم است احتمالاً یک کاهنده تک‌سرعه از نظر هزینه و اثربخشی به‌صرفه‌تر است.

**درایوهای تسمه‌ای:** در این درایوها یک (یک‌بار) کاهش سرعت با کمترین هزینه همراه است چون به‌راحتی می‌توان چرخ‌ها را عوض کرد. از آنجاکه با نصب دوباره چرخ‌های قدیمی به‌راحتی می‌توان تغییرات را بازگرداند از این روش وقتی استفاده می‌شود که کاهش خروجی برای یک دوره معین موردنیاز است. مثلاً وقتی سطح تولید برای یک زمان نامشخص کاهش یافته ولی ممکن است در آینده نیاز باشد که به ظرفیت اولیه برگردیم.

**کاهش دور توسط چرخ‌دنده:** حالت‌های مشابه‌ای را توسط تغییر چرخ‌دنده می‌توان به‌کار برد.

**تعويض موتور:** درموردی که بار کاهش سرعت مورد نیاز است يك موتور با سرعت کمتر را نیز می‌توان جایگزین نمود.

### ۵-۲- موتورهای دوسرعه

موتور دوسرعه يك راه‌حل اقتصادی میانه در مقایسه با استفاده از درایوهای چندسرعه و سرعت ثابت است.

همانطور که در مثال‌های قبلی بیان شد چون توان مصرفی با مکعب (توان سوم) سرعت متناسب است، صرفه‌جویی در انرژی اهمیت زیادی دارد. در عمل يك افزایش جزئی به‌خاطر تلفات اصطکاک رخ می‌دهد. از این روش و استفاده از روش‌های کنترلی دیگر می‌توان خروجی را در يك رنج محدود کنترل کرد.

دوسرعت را می‌توان از يك سیم‌پیچ به‌دست آورد ولی سرعت پایینی باید نصف سرعت بالایی باشد. مثلاً سرعت‌های موتور به این شکل است  
۳۶۰۰/۱۸۰۰ ، ۱۲۰۰/۶۰۰ ، ۱۸۰۰/۹۰۰

وقتی به نسبت‌های دیگری از سرعت نیاز است استفاده از يك استاتور دو سیم‌پیچ ضروری است. از موتورهای قفسی چندسرعه (multispeed squirrel cage motors) نیز که دارای سه یا چهار سرعت همزمان هستند می‌توان استفاده نمود.

قیمت موتورهای دوسرعه تقریباً دو برابر موتورهای تک‌سرعه است. اگر يك موتور بتواند در دوره‌های زمانی محسوسی با سرعت کمتر کار کند صرفه‌جویی حاصله سرمایه‌گذاری اضافی را توجیه می‌کند. در موتورهای چندسرعه استارترهای گرانبه‌تری مورد نیاز است چون اندازه محافظ‌های اضافه‌بار در سرعت‌های مختلف متفاوت است.

## ۵- کاهش بار

مسئله کاهش بار موتور یکی از بهترین روش‌های کاهش هزینه‌های الکتریکی است. تعمیر و نگهداری مناسب تجهیزات نیز می‌تواند با از بین بردن تلفات ناشی از اصطکاک در تجهیزات نامیزان (غیر هم‌محور)، یاتاقان‌های سخت‌شده و نقاله‌ها، بار موتور را کاهش دهد. روغن‌کاری مناسب قسمت‌های متحرک مانند یاتاقان‌ها و زنجیرها تلفات ناشی از اصطکاک را به حداقل می‌رساند. جایگزینی یاتاقان‌های غلطکی و بلبرینگ‌ها با یاتاقان‌های تخت به‌خصوص در شافت‌های انتقال نیز روش مؤثری است.

## ۶- گشتاور راه‌اندازی زیاد

در بارهایی که گشتاور استارت بزرگی نیاز دارند باید از یک موتور B-NEMA (رایج‌ترین موتور مورد استفاده در صنعت) یا موتور A-NEMA استفاده کرد. درجایی که بارهای با اینرسی زیاد وجود دارد می‌توان از موتورهای کوچکتری که به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که قابلیت گشتاور زیاد را دارند استفاده کرد. یک موتور B-NEMA می‌تواند از عهده بار زیاد استارت برآید ولی وقتی بار به سرعت نهایی رسید موتور در کمتر از ظرفیت نامی کار می‌کند. ولی انتخاب یک موتور کوچکتر از نوع C-NEMA یا D-NEMA ضمن اینکه همان گشتاور راه‌انداز را تولید کرده، در شرایط معمول عملیاتی نیز نزدیک بار کامل نامی کار می‌کند.

## ۷- موتورهای که مجدداً پیچیده می‌شوند (موتورهای سوخته‌ای

که سیم‌پیچی آنها عوض می‌شود)

بازده موتورهایی که برای بار دوم پیچیده می‌شوند کاهش می‌یابد که البته مقدار این کاهش بستگی به کارگاهی دارد که موتور در آن پیچیده شده است، چون کارگاه‌های سیم‌پیچی لزوماً از بهترین روشی که عملکرد اولیه موتور را حفظ کند استفاده نمی‌کنند. در برخی موارد به دلیل بازده کم به خصوص در موتورهای کوچک پیچیدن دوباره موتور توجیه‌پذیر نیست.

در حالت ایده‌آل باید بازده موتور قبل و بعد از پیچیدن آن با هم مقایسه شود. یک روش تقریباً ساده برای ارزیابی کیفیت موتور پیچیده شده مقایسه جریان بی‌باری موتور است، این مقدار در موتورهایی که به خوبی پیچیده نشده باشند افزایش می‌یابد، بررسی روشی که در کارگاه سیم‌پیچی استفاده می‌شود، نیز می‌تواند کیفیت کار را مشخص کند. در زیر برخی نکاتی که باید مورد توجه قرار گیرد آمده است :

- وقتی موتوری را برای پیچیدن مجدد باز می‌کنند، عایق بین ورقه‌ها خراب شده و باعث افزایش تلفات جریان گردابی می‌گردد مگر اینکه بازکردن (سوزاندن) عایق در کوره‌ای با دمای قابل تنظیم انجام شده و ورقه‌های عایق غیرآلی جایگزین گردد.
- گداختن و سوزاندن سیم‌پیچ کهنه (خراب‌شده) در دمای کنترل نشده یا استفاده از یک مشعل دستی برای نرم‌کردن و خردکردن لاک بین سیم‌ها به منظور بازکردن آسان‌تر سیم‌پیچ به این معنی است که کار در این کارگاه به خوبی انجام نمی‌شود و باید به کارگاه دیگری برای پیچیدن موتور مراجعه کرد.
- اگر در نتیجه بازکردن و سوزاندن نامناسب تلفات هسته افزایش یابد، موتور در دمای بیشتری کار می‌کند و زودتر از موعد خراب می‌شود.

- اگر تعداد دوره‌های سیم‌پیچ در استاتور کاهش یابد تلفات هسته استاتور افزایش می‌یابد این تلفات در نتیجه جریان ناشی (هارمونیک) القا شده توسط جریان بار به وجود می‌آید و اندازه آن برابر با توان دوم جریان بار است.
  - در پیچیدن موتور اگر از سیم‌های با قطر کوچکتر استفاده شود، مقاومت و در نتیجه تلفات افزایش می‌یابد.
- روش‌های پیچیدن موتور در کارگاه‌های مختلف تعمیراتی متفاوت است بنابراین قبل از تصمیم به پیچیدن دوباره موتور باید کارگاه‌ها کاملاً بررسی و بهترین کارگاه انتخاب شود.
- شرکت Wanlass يك روش پیچیدن موتور ارائه کرده که مدعی است بازده را تا ده درصد افزایش می‌دهد این روش بر مبنای جایگزینی سیم‌پیچ موجود با دو سیم‌پیچ است که به گونه‌ای طراحی شده‌اند که سرعت موتور را متناسب با بار تغییر دهد. در مورد ادعای بهبود بازده بحث‌های زیادی صورت گرفته و در حالی که از عرضه موتورهای Wanlass بیش از يك دهه می‌گذرد استفاده کننده‌های عمده معتقدند این نوع طراحی بهبودی را که می‌توان از طریق تکنیک‌های متعارف طراحی موتور و سیم‌پیچ به دست آورد در صنعت موتور ارائه نکرده است.

## ۸- ژنراتور موتورها

یکسوکننده‌های نیمه‌هادی يك منبع مناسب جریان مستقیم DC برای موتورهای DC یا دیگر استفاده‌های از جریان DC هستند، ژنراتور موتورهایی که معمولاً برای جریان مستقیم به کار می‌روند قطعاً نسبت به یکسوکننده‌های نیمه‌هادی بازده کمتری دارند بازده موتور ژنراتور در بار کامل حدود ۷۰ درصد است در حالیکه بازده یکسوکننده‌های نیمه‌هادی تقریباً ۹۶ درصد در بار کامل است. وقتی ژنراتور موتوری در کم‌تر از بار نامی کار کند بازده آن به طور قابل ملاحظه‌ای

کاهش می‌یابد چون بازده آن برابر با حاصل ضرب بازده ژنراتور و موتور است.

## ۹- تسمه‌ها (Belts)

بازده درایوهای V-belt تأثیر زیادی در بازده موتور دارد. عوامل تأثیرگذار در بازده V-belt عبارتند از:

۱- Overbelting: تسمه‌های با مشخصات نامی بالاتر باعث افزایش کارایی می‌شوند

۲- تنش (فشار): فشار نامناسب باعث کاهش بازده تا ۱۰ درصد می‌شود. بهترین فشار برای يك V-belt کمترین فشاری است که در آن تسمه در بار کامل نلغزد.

۳- اصطکاک: تلفات اصطکاک اضافی در نتیجه نامیزان بودن (غیرهم محوری)، فرسودگی چرخ‌ها تهویه نامطلوب یا مالیده شدن تسمه‌ها به چیزی به وجود می‌آیند.

۴- قطر چرخ: هرچه قطر چرخ بزرگتر باشد بازده افزایش می‌یابد. جایگزینی V-belt‌های شیاردار با V-belt‌های متعارف صرفه‌جویی زیادی در بر دارد. يك V-belt در معرض تنش فشاری بزرگی متناسب با قطر چرخ قرار دارد. از آنجاکه در V-belt‌های شیاردار در قسمت تحت فشار از ماده کمتری استفاده شده تغییر شکل لاستیک و تنش‌های فشاری به حداقل می‌رسد بنابراین بازده عملیاتی در V-belt‌های شیاردار بیشتر می‌شود.

اگر هزینه عملیاتی سالانه يك موتور ۶۰ اسب بخار (برای ۶۰۰۰ ساعت) ۱۸۰۰۰ دلار باشد حتی يك درصد بهبود در بازده موتور باعث ۱۸۰ دلار صرفه‌جویی در سال می‌شود. هزینه اضافی برای ۶ تسمه با اندازه ۱۲۸ تقریباً ۷ دلار است.