شاخص‌ها و استانداردهای مصرف انرژی جهانی و ملی

در سراسر جهان استانداردهای مختلفی برای تبیین کاربری‌ها و عملکرد و ایمنی موتور الکتریکی موجود است.

دو نوع استاندارد که بیش از همه مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارتند از:

NEMA (انجمن ملی سازندگان الکتریکی)

IEC (کمیته بین المللی الکتروتکنیکی)

NEMA

NEMA برای بسیاری از محصولات الکتریکی از جمله موتورهای الکتریکی استاندارد تدوین می‌نماید. NEMA اصولا استاندارد موتورهای مورد استفاده در آمریکای شمالی است.

استانداردهای معتبر لیاقت‌های عمومی صنعتی را بیان می‌کنند و بوسیله جامعه الکتریکی پشتیبانی می‌شوند. این استانداردها را می‌توان در نشریه شماره NEMA ۱MG یافت. ممکن است بعضی موتورهای بزرگ AC تحت این استاندارد قرار نگیرند. این موتورها برای مواجهه با نیاز در نوع خاصی از کاربری ساخته می‌شوند و معمولا به صورت سفارشی تولید می‌گردند که جزء موتورهای NEMA محسوب نمی‌شوند.

IEC

IEC سازمانی اروپایی است که استانداردهای الکتریکی و مکانیکی را در سراسر جهان منتشر و ارتقاء می‌دهد که شامل الکتروموتور نیز می‌باشد. در شرایط عادی میتوان گفت که IEC همتای بین‌المللی NEMA می‌باشد. دربسیاری ازکشورها جهان موتورهای مورد استفاده تحت استاندارد IEC تولید ومصرف می‌گردند.

طراحی الکترو موتورها براساس استانداردهای NEMA

به طور عمده استانداردهای NEMA چهار نوع طراحی را برای موتورهای AC القایی مشخص می‌کنند.(طرح A-B-C-D)

طرح A گشتاور استارت طبیعی (بین ۱۵۰ تا ۱۷۰درصد مجاز) و جریان استارت نسبتا بالا دارد.گشتاور شکست آن در میان همه طرحهای NEMA بالاترین مقدار است که موتور را قادر می‌سازد تا با اضافه بارهای بسیار سنگین برای مدتی کوتاه سروکار داشته باشد. میزان اختلاف(Slip) پنج درصد است. نوعی از استعمال آن در نیرودهی به ماشینهای قالب گیری تزریقی است.

طرح B معمولی ترین نوع موتور القایی AC است که تولید می‌گردد. مانند طرح A گشتاور استارتی طبیعی داشته ولی جریان استارتی پایین دارد.گشتاور روتور قفل، درآن آنقدر خوب هست که بسیاری از بارهایی را که در کاربری صنعتی با آنها مواجه می‌شود بکار بیندازد. اختلاف(Slip) آن ۵ درصد است. بازده و ضریب توان ظرفیت تکمیل(PF) آن نسبتا بالا بوده واز انواع کاربردهای آن میتوان به پمپها و فنها و ماشین ابزارها اشاره کرد.

طرح C با گشتاور استارتی بالا(بالاتر از دونوع قبلی، ۲۰۰درصد اسمی)، مناسب برای استفاده در بارهایی با شروع بکار ناگهانی مانند نقاله‌ها ، خرد کننده‌ها ، دستگاههای پرتحرک، همزنها و پمپهای دوطرفه و کمپرسورها است. این موتورها نامزد استفاده در عملیاتی با سرعت نزدیک به سرعت تمام بدون اضافه بارهای بزرگ هستند. اختلاف (Slip) در آنها ۵ درصد میباشد.

طرح D گشتاور بالایی (بالاتر از همه مدلهایNEMA) دارد. جریان استارت و سرعت ظرفیت تکمیل در آن کم است. مقدار بالای اختلاف (۵تا۱۳درصد) این موتور را برای کاربری‌هایی با بارهای متغیر و با تغییرات برجسته در سرعت موتور مانند ماشین آلاتی با ذخیره ساز انرژی، چرخ طیار، پرسهای منگنه، قیچیها، آسانسورها، استخراج کننده‌ها، بالابرها، جرثقیلها، پمپ‌های چاه نفت، ماشینهای سیم‌پیچی و غیره مناسب می‌سازد. تنظیم سرعت درآنها ضعیف است. معمولا این موتور به عنوان مورد سفارشی مطرح می‌شود.
جدیداً NEMA طرحی جدیدی را به استانداردش برای موتور القایی افزوده‌است. طرح E شبیه طرح B است با این تفاوت که بازدهی بالاتر جریان استارتی بالا تر و جریان کارکرد در اضافه باری کمتر دارد.

بررسی استانداردهای اروپایی کارایی انرژی الکتروموتورها

تا سال ۲۰۰۹ اروپا هیچ آیین نامه ی مشخصی در ارتباط با سطوح راندمان انرژی موتورهای الکتریکی نداشتند و تنها یک توافقنامه اختیاری بین کارخانه های تولیدکننده الکتروموتور از سال ۱۹۹۸ درسه گروه بازده انرژی شامل EFF1، EFF2، EFF3 برای الکتروموتورها به تصویب رسیده بود. در سال ۲۰۰۵ بر اساس توافقنامه بین کمیته اروپا و کارخانه های تولید کننده طرح طبقه بندی راندمان الکتروموتورها تصویب شد.که بر اساس این طرح سه سطح راندمان EFF1، EFF2، EFF3 رای الکتروموتورهای تعیین شد.
در سطوحEFF1، EFF2 برای موتورهای ۲ و ۴ قطبی و درسطح EFF3 برای موتورهای ۲-۴ و ۸ قطبی از قدرت ۱.۱ کیلووات تا قدرت ۹۰ کیلووات راندمان مورد تصویب قرار گرفت .
جدول زیر مقایسه راندمان الکتروموتورها را در سه سطحEFF1، EFF2، EFF3 از محدوده ۱.۱ کیلووات تا ۹۰ کیلووات را نشان می‌دهد.

kW	EFF 3 2- & 4-pole η_n [%]	EFF 2 2- in 4- pole η_n [%]	EFF 1 2- pole ηn [%]	EFF 1 4- pole ηn [%]
1,1 1,5	< 76,2 < 78,5	≥ 76,2 ≥ 78,5	≥ 82,2 ≥ 84,1	≥ 83,8 ≥ 85,0
2,2 3	< 81,0 < 82,6	≥ 81,0 ≥ 82,6	≥ 85,6 ≥ 86,7	≥ 86,4 ≥ 87,4
4 5,5	< 84,2 < 85,7	≥ 84,2 ≥ 85,7	≥ 87,6 ≥ 88,6	≥ 88,3 ≥ 89,3
7,5 11	< 87,0 < 88,4	≥ 87,0 ≥ 88,4	≥ 89,5 ≥ 90,5	≥ 90,1 ≥ 91,0
15 18,5	< 89,4 < 90,0	≥ 89,4 ≥ 90,0	≥ 91,3 ≥ 91,8	≥ 91,8 ≥ 92,2
22 30	< 90,5 < 91,4	≥ 90,5 ≥ 91,4	≥ 92,2 ≥ 92,9	≥ 92,6 ≥ 93,2
37 45	< 92,0 < 92,5	≥ 92,0 ≥ 92,5	≥ 93,3 ≥ 93,7	≥ 93,6 ≥ 93,9
55 75	< 93,0 < 93,6	≥ 93,0 ≥ 93,6	≥ 94,0 ≥ 94,6	≥ 94,2 ≥ 94,7
90	< 93,9	≥ 93,9	≥ 95,0	≥ 95,0

در جولای سال ۲۰۰۹ کمیته اروپا قانون ۲۰۰۹/۶۴۰ و دستورالعمل اجرایی /۲۰۰۵/۳۲/EC مربوط به حوزه عرضه، تاریخ اجرا و سطوح راندمان موتورهای الکتریکی را به بازار اروپا معرفی نمود.

این دستورالعمل مبنایی جهت تعیین سطوح راندمان انرژی برای استاندارد ۶۰۰۳۴-۳۰ قرارگرفت. محدوده این دستورالعمل شامل الکتروموتورهای تک سرعته، سه فاز(۵۰ یا ۶۰ هرتز) و الکتروموتورهای القایی قفس سنجابی است که دارای شرایط زیر باشند :

- دارای ۲ تا ۶ قطب
- دارای ولتاژ نامی Un تا ۱۰۰۰ ولت
- توان خروجی بین ۰.۷۵ کیلووات تا ۳۷۵ کیلووات
- کارکرد پیوسته- S1

بر اساس استاندارد ۲۰۰۰: ۶۰۰۳۴-۳۰/IEC/EN در سه کلاس راندمان با علامت IE (راندمان بین المللی) برای موتورهای القایی قفس سنجابی سه فاز تک سرعته به شرح زیر مشخص شده است.

- IE1 : راندمان استاندارد (معادل راندمان EFF2 طرح کلاس بندی سابق اروپا)

- IE2 : راندمان بالا (معادل راندمان EFF1 در طرح کلاس بندی راندمان سابق اروپا)
- IE3 : راندمان عالی (دراستاندارد NEMA معادل Premium در فرکانس ۶۰ هرتز آمریکا)

جدول زیر مقایسه راندمان الکتروموتورها را در سه سطح EFF1 ، EFF2، EFF3 ازمحدوده ۰.۷۵ کیلووات تا ۳۷۵ کیلووات ۲ - ۴ و ۶ قطب براساس استاندارد ۳۰- ۶۰۰۳۴ ویرایش ۲۰۰۸ را نشان می‌دهد.

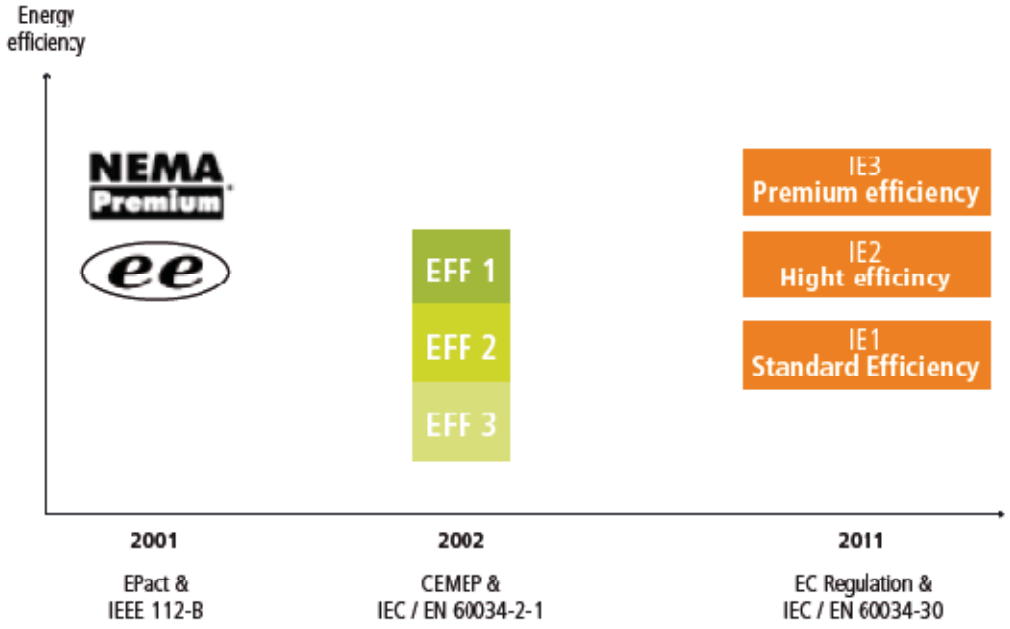
همانگونه که ملاحظه می‌شود با بالا رفتن توان مکانیکی الکتروموتورها راندمان آنها افزایش می‌یابد به نحوی که الکتروموتوری با توان ۰.۷۵ کیلووات دو قطب با تغییر سطح استانداراز IE1 به IE3 راندمان از ۷۲/۱ به ۸۰/۷ افزایش می‌یابد در حالی که الکترو موتوری با توان ۲۰۰ کیلووات به بالا ۲ قطب با تغییر سطح استاندارد از IE1 به IE3 فقط با افزایش راندمان از۹۴ درصد به ۹۵.۸ درصد مواجهه می‌گردیم.

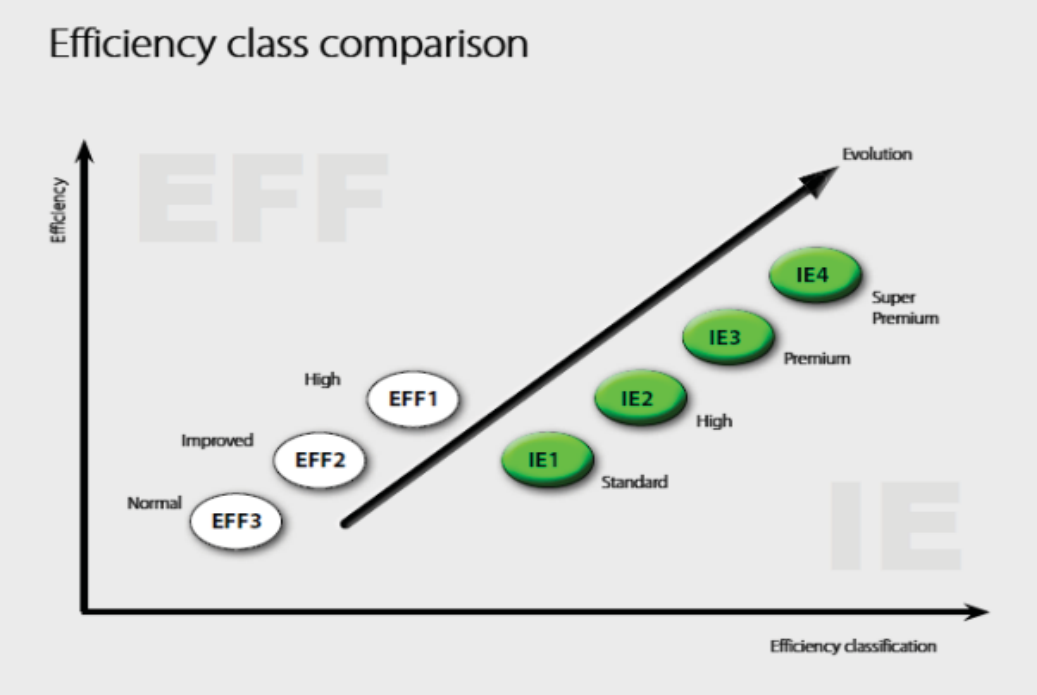
Output	IE1 - Standard Efficiency			IE2 - High Efficiency			IE3 - Premium Efficiency		
	Poles			Poles			Poles		
kW	2	4	6	2	4	6	2	4	6
0.75	72.1	72.1	70.0	77.4	79.6	75.9	80.7	82.5	78.9
1.1	75.0	75.0	72.9	79.6	81.4	78.1	82.7	84.1	81.0
1.5	77.2	77.2	75.2	81.3	82.8	79.8	84.2	85.3	82.5
2.2	79.7	79.7	77.7	83.2	84.3	81.8	85.9	86.7	84.3
3	81.5	81.5	79.7	84.6	85.5	83.3	87.1	87.7	85.6
4	83.1	83.1	81.4	85.8	86.6	84.6	88.1	88.6	86.8
5.5	84.7	84.7	83.1	87.0	87.7	86.0	89.2	89.6	88.0
7.5	86.0	86.0	84.7	88.1	88.7	87.2	90.1	90.4	89.1
11	87.0	87.6	86.4	89.4	89.8	88.7	91.2	91.4	90.3
15	88.7	88.7	87.7	90.3	90.6	89.7	91.9	92.1	91.2
18.5	89.3	89.3	88.6	90.9	91.2	90.4	92.4	92.6	91.7
22	90.0	90.0	89.2	91.3	91.6	90.9	92.7	93.0	92.2
30	90.7	90.7	90.2	92.0	92.3	91.7	93.3	93.6	92.9
37	91.2	91.2	90.8	92.5	92.7	92.2	93.7	93.9	93.3
45	91.7	91.7	91.4	92.9	93.1	92.7	94.0	94.2	93.7
55	92.1	92.1	91.9	93.2	93.5	93.1	94.3	94.6	94.1
75	92.7	92.7	92.6	93.8	94.0	93.7	94.7	95.0	94.6
90	93.0	93.0	92.9	94.1	94.2	94.0	95.0	95.2	94.9
110	93.3	93.3	93.3	94.3	94.5	94.3	95.2	95.4	95.1
132	93.5	93.5	93.5	94.6	94.7	94.6	95.4	95.6	95.4
160	93.8	93.8	93.8	94.8	94.9	94.8	95.6	95.8	95.6
200 up to 375	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8

تاریخ های اجراء استاندارد جدید تصویب شده

- از جولای ۲۰۱۱ راندمان الکتروموتورها با توان خروجی ۰.۷۵ تا ۳۷۵ کیلووات نباید کمتر از سطح راندمان IE2 باشد.
- از ژوئن ۲۰۱۵ راندمان الکتروموتورها با توان خروجی ۰.۷۵ تا ۳۷۵ کیلووات نباید کمتر از سطح راندمان IE3 باشدیا سطح راندمان IE2 که مجهز به سیستم کنترل سرعت (VFD) می‌باشد را برآورده نماید.
- از ژانویه ۲۰۱۷ راندمان همه الکتروموتورها با توان خروجی ۰.۷۵ تا ۳۷۵ کیلووات نباید از سطح راندمان IE3 کمتر باشد یا در حد راندمان IE2 برای الکتروموتورهایی که مجهز به درایو کنترل سرعت هستند باشند.

نمودارهای زیر زمان شروع هر دو استاندارد جدید و قدیم اروپا را نشان میدهد.





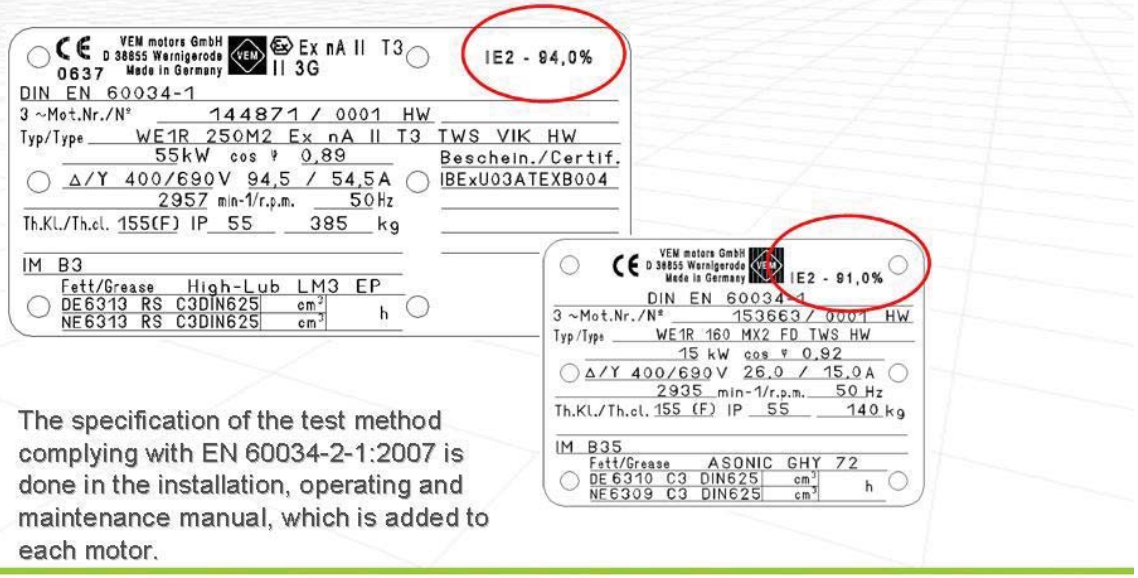
جدول زیر سطوح راندمان الکتروموتورهای القایی روش‌های آزمون و استانداردهای عملکرد حداقل انرژی را در کشورهای مختلف نشان می‌دهد.

EFFICIENCY LEVELS*	Designations based on test method:		Minimum Energy Performance Standards *(estimated in-country % market share) (1)*	
	IEC 34-2	IEEE / CSA	MANDATORY	VOLUNTARY
PREMIUM		NEMA Premium		Australia *(10%)* Canada, USA *(16%)* China - 2010
HIGH	EFF 1	EPAct, the Level, JIS C 4212	Australia - 2006 Brazil - 2009 Canada, USA *(54%)* China - 2010 Mexico	Australia *(32%)* Brazil *(15%)* China *(1%)* EU *(7%)* India *(2%)* Japan *(1%)*
STANDARD	EFF 2	Standard	Australia *(58%)* Brazil *(85%>20 after '09)* China *(99%)* Canada, USA~30% exempt	EU *(66 non-CEMEP, 85 of CEMEP agreement members)* India *(48%)* Japan *(99%)*
Below Standard	EFF 3			EU *(28% non-CEMEP, 8 CEMEP)* India *(50%)*
* Normalized, taking differences in test methods and frequencies into account.				
(1) Based on information shared at standards workshop and EEMODS, September 2005				

مقایسه پلاک الکتروموتورها براساس راندمان قدیم و جدید

■ Name plate design

Design sample for standard and Ex nA II T3 motors

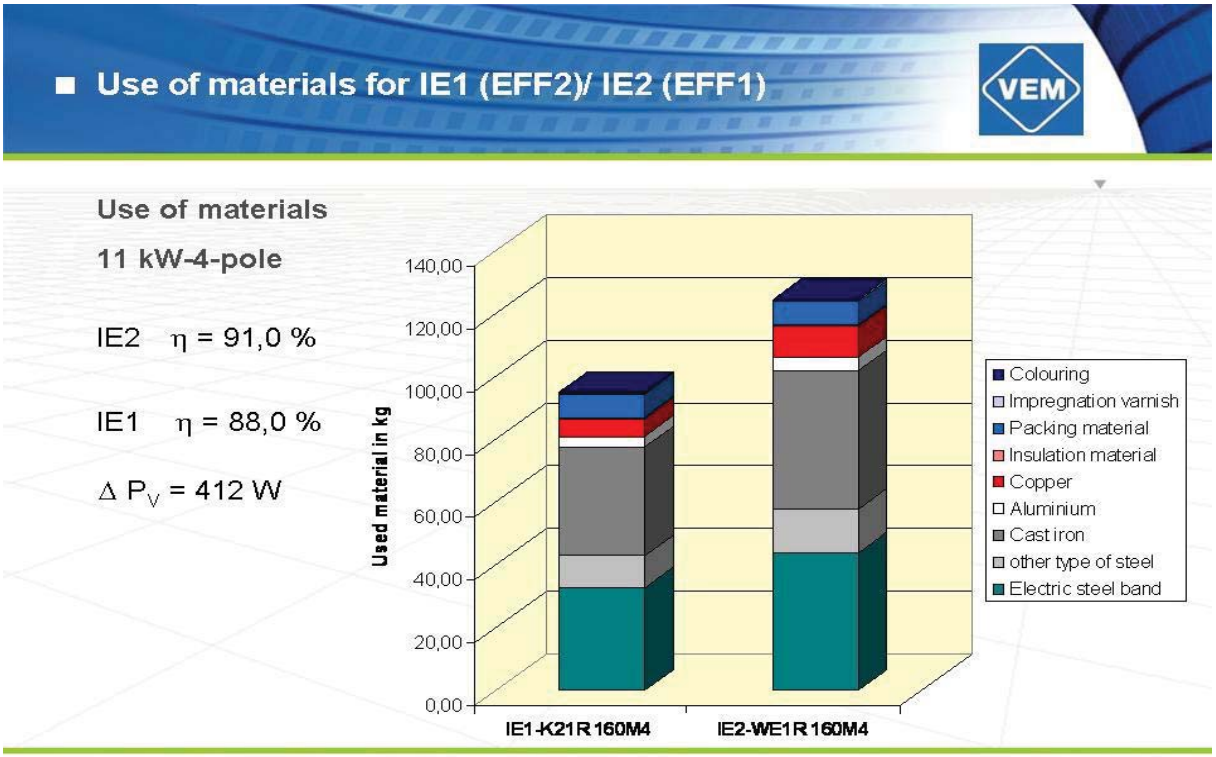


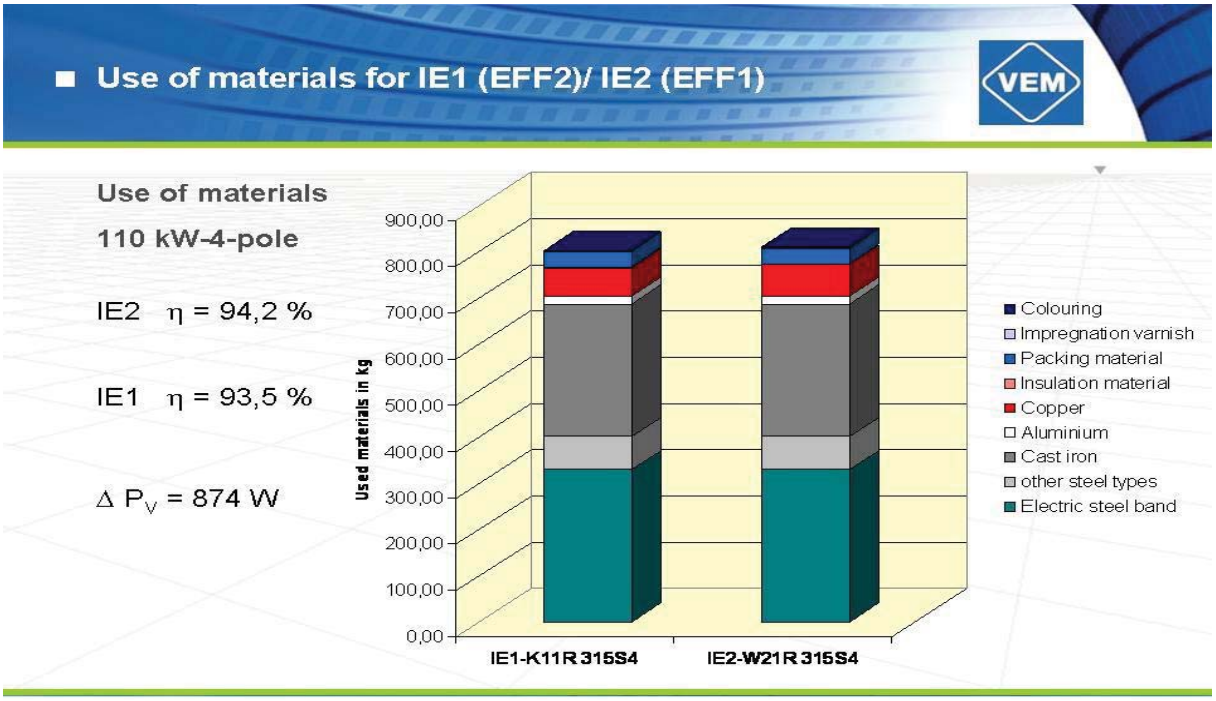
The specification of the test method complying with EN 60034-2-1:2007 is done in the installation, operating and maintenance manual, which is added to each motor.

علل افزایش راندمان الکتروموتورهای راندمان بالا نسبت به الکتروموتورهای استاندارد

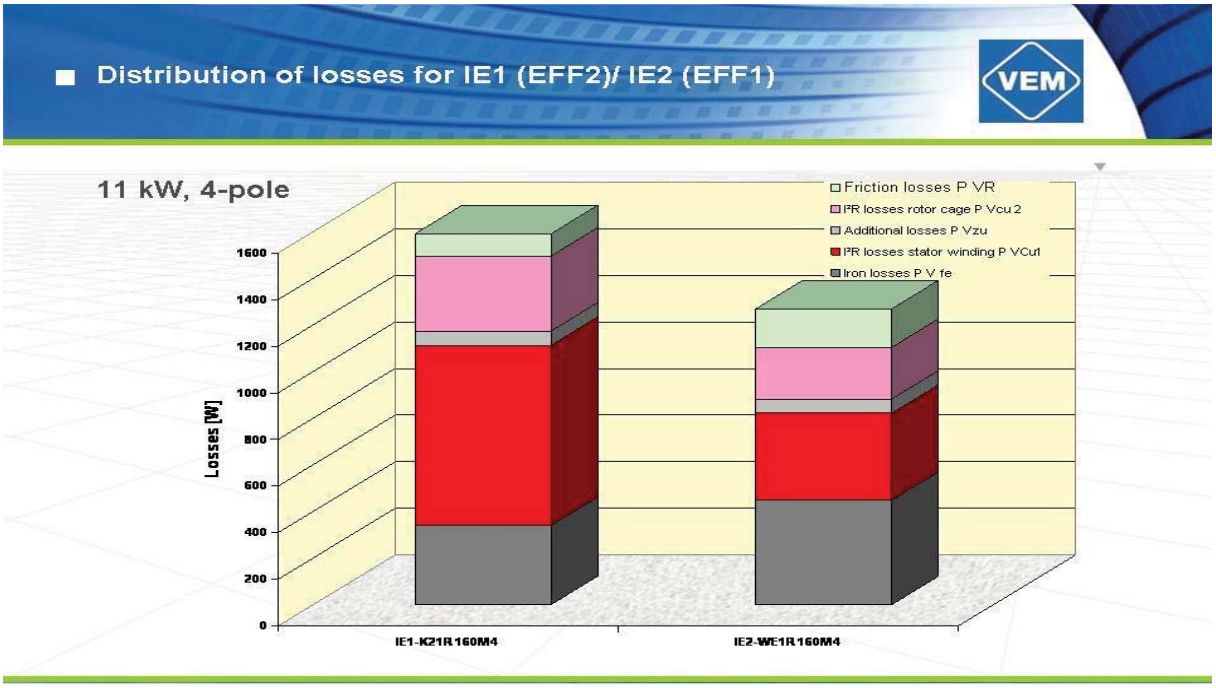
- افزایش مقدار مس و استیل مصرفی در روتور و استاتور(در نمودار های بعد کاملاً مشخص می-باشد که افزایش مواد اولیه باعث افزایش راندمان موتورها میگردد)
- استفاده از استیل با کیفیت بالا و لایه لایه با ضخامت کمتر
- استفاده از سیم پیچ مسی با راندمان بالا
- افزایش سطح مقطع هادی ها که باعث کاهش مقاومت الکتریکی میگردد.
- انتخاب بلبرینگ ویاتاقان ها با کیفیت بالا وکاهش اصطکاک
- کاهش تلفات حرارتی موتور
- کاهش فاصله هوایی بین روتور و استاتور
- کارکردآرام و عمر طولانی تر یاتاقان ها و بلبیرینگ ها به علت کار کردن در دمای پایین تر
- افزایش عمر الکتروموتور به دلیل کاهش دمای کارکرد
- بهبود طراحی فن الکتروموتورها (فن کوچکتر و با راندمان بالاتر)
- اصلاح قالب ها ی الکتروموتور
- طراحی جدید شیار های موتور برای کاهش تلفات
- کاهش جریان و تلفات چرخشی
- افزایش عمر عایق ها
- افزایش طول روتور و استاتور (افزایش چگالی شار مغناطیسی)

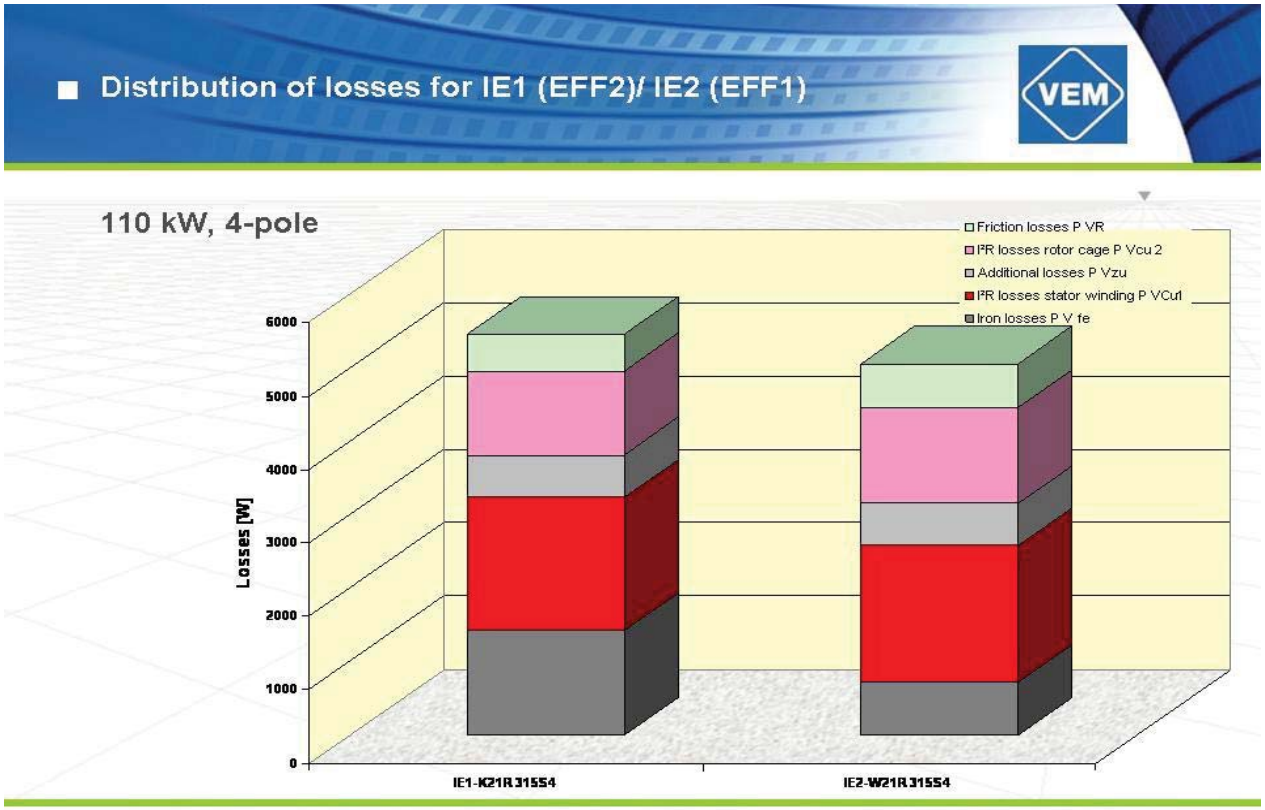
نمودارهـای مقایسـه مقـدارمواد مصـرفی و رانـدمان در الکتـرو موتـوری بـا توانهـای ۱۱ و ۱۱۰ کیلـووات طبـق استانداردهای IE1(EFF2) و IE2(EFF1)





نمودارهـــای مقایســـه کـــاهش تلفـــات در الکتـــرو موتـــوری بـــا توانهـــای ۱۱ و۱۱۰ کیلـــووات طبـــق استانداردهای(IE1(EFF2وIE2(EFF1)





صرفه جویی انرژی ناشی از جایگزینی الکترو موتورهای راندمان بالا با موتورهای موجود

جهت محاسبه صرفه جویی توان الکتریکی حاصل از جایگزینی الکترو موتور های راندمان بالا با الکتروموتور های موجود باید حداقل ساعت کارکرد موتور در طول عمر مفید آن و کلاس کاردهی (برای یکسان سازی محاسبات S1 در نظر گرفته شده) و راندمان موتورها و همچنین با بار کامل در سطوح مختلف استانداردها (IE1-IE2-IE3) را باید مد نظر قراردهیم .

در جداولی که در ادامه خواهد آمد سطح IE1 به عنوان مبنا در نظر گرفته شده است و IE2 یاIE3 با IE1 مقایسه گردیده است. ضمناً سطوح راندمان بر اساس توان خروجی که معمولاًدر پلاک مشخصات ثبت میگردد در نظر گرفته شده وسپس به توان الکتریکی تبدیل گردیده است.

توان صرفه جویی شده $kW= (kW_{std} - kW_{EE}) = (hp)\ (0.746\ kW/hp)\ (100/E_{std} - 100/E_{EE})$

انرژی صرفه جویی شده $Kw/h=20000h^* kW$

مثال :

اگر موتور الکتریکی دو قطبی دایم کار با بار کامل و استاندارد به قدرت ۵۵ کیلووات با موتور راندمان بالا تعویض گردد چه مقدار انرژی در ۲۰۰۰۰ ساعت کارکرد صرفه جویی می گردد.

IE2 انرژی صرفه جویی شده $55(100/92.1-100/93.2)*20000=13138\ Kw/h$

IE3 انرژی صرفه جویی شده $55(100/92.1-100/94.3)*20000=26276\ Kw/h$

همانگونه که ملاحظه می شود با ارتقای کلاس بازدهی الکتروموتور میزان صرفه جویی انرژی ۲ برابر شده است.

راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در الکتروموتورها

جلوگیری ازهرزگردی موتورها

بیشترین صرفه‌جویی مستقیم برق را می‌توان با خاموش کردن موتورهای بی‌بار و درنتیجه حذف تلفات بی‌باری به‌دست آورد. روش ساده آن درعمل نظارت دایم یا کنترل اتوماتیک است. اغلب به مصرف برق در بی‌باری اهمیت چندانی داده نمی‌شود درحالی‌که به طور معمول جریان در بی‌باری حدود جریان در بار کامل است.

اصلاح کم باری

وقتی از الکتروموتوری استفاده شود که مشخصات نامی بالاتر از مقدار مورد نیاز را داشته باشد، موتور در بارکامل کار نمی‌کند و در این‌حالت بازده موتورکاهش می‌یابد.

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

- ممکن است پرسنل مقدار بار واقعی را ندانند و بنابر احتیاط الکتروموتوری 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 درعمل به ندرت اتفاق افتد. به‌علاوه اغلب موتورها می‌توانند برای دوره‌های کوتاه در باری بیشتر از بار کامل نامی کار کنند.درصورت تعدد این وسایل اهمیت مسئله بیشتر می‌شود.
- وقتی موتور با مشخصات نامی موردنظر در دسترس نیست یک 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 . به‌خاطر افزایش غیرمنتظره در بار که ممکن است هیچگاه هم رخ ندهد یک 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 به‌کار گرفته شوند. باید مطمئن شد هیچ کدام از این موارد موجب استفاده از موتورهایی بزرگتر از اندازه و درنتیجه 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 ۱/۳ 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 وسیله‌است.

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 موتورهـای موجـود 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.

استفاده ازموتورهای پربازده

بهترین و موثرترین راه صرفه جویی انرژی در الکتروموتور استفاده از موتور های راندمان بالا می‌باشد. امروزه باتوجه به افزایش قیمت انرژی در جهان و با توجه به کارکرد طولانی مدت موتورها در صـنایع هزینـه سـرمایه گـذاری اولیـه را توجیه پذیرمی نماید.