



AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE

ویرایش یازدهم
سال ۲۰۱۰

آموزش استاندارد API 610

گفتار یازدهم: مبانی موتورهای الکتریکی

ELECTRIC MOTORS

مبانی موتورهای الکتریکی



موتورهای الکتریکی به طور وسیعی در پمپ های سانتریفیوژ استفاده می شوند.
موتورهای القایی سه فاز در محدوده عملکرد وسیعی در دسترس می باشند.
موتورهای جریان متناوب تک فاز تنها زمانی که منبع سه فاز در دسترس نیست مورد استفاده قرار می گیرد.
موتورهای جریان مستقیم برای تجهیزات اضطراری که نیاز است حتی زمانی که منبع اصلی برق از کار بیفتد به کار خود ادامه دهند مورد استفاده قرار می گیرد. مانند پمپ های روغن رونکاری اضطراری. این موتورها عموماً از باتری UPS تغذیه می شوند.

فرکانس

جریان های متناوب با فرکانس های (دور در ثانیه) مختلف تولید می شوند. فرکانس f واحد هرتز (Hz) دارد. سیستم برق شبکه اروپا با ۵۰ هرتز عمل می کند. در برخی مکان ها مانند سیستم های برق محلی و یا سیستم راه آهن فرکانس شبکه متفاوت می باشد. خارج از اروپا، سیستم های برق ۶۰ هرتز نیز متداول است. در برخی کشورها هم فرکانس ۵۰ و هم ۶۰ هرتز مورد استفاده قرار می گیرد.

قاره	فرکانس	استثناها
افریقا	۵۰ هرتز	لیبی: ۶۰ هرتز
امریکا	۶۰ هرتز	باربادوس، شیلی، جامائیکا، پاراگوئه، اروگوئه: ۵۰ هرتز بولیوی، گویانا، هایتی: ۵۰ و ۶۰ هرتز
آسیا	۵۰ هرتز	کره، فیلیپین، عربستان سعودی، تایوان: ۶۰ هرتز ژاپن: ۵۰ و ۶۰ هرتز
استرالیا و نیوزیلند	۵۰ هرتز	-

منابع الکتریکی

منابع الکتریکی به سه رده تقسیم می شوند، ولتاژ خیلی پایین تا ۴۲ ولت، ولتاژ پایین تا ۱۰۰۰ ولت و ولتاژ بالا که بیشتر از ۱۰۰۰ ولت است. ولتاژهای خیلی پایین در اسباب بازی ها (تا ۲۴ ولت) و لامپ هایی که در محل های امن مانند داخل مخازن کار می کند، استفاده می شود. ولتاژ پایین و ولتاژ بالا منابع اصلی برای محرکه های الکتریکی هستند.

فرکانس	ولتاژ نامی مطابق DIN IEC 38 (رواداری $\pm 10\%$)	محدوده ولتاژ مجاز مطابق DIN IEC 34-1 یا DIN VDE 0530 (رواداری اضافی $\pm 5\%$)
۵۰ هرتز	230V Δ / 400 V Y	220...240 V Δ / 380...420 V Y
	400 V Δ / 690 V Y	380...420 V Δ / 660...725 V Y
۶۰ هرتز	460 V Y	440...480 V Y
	460 V Δ	440...480 V Δ

منابع سه فاز ولتاژ پایین

۵۰ هرتز	3 kV	6 kV	6.6 kV	10 kV	
۶۰ هرتز	2.4 kV	4.8 kV		6.9 kV	12 kV

انتخاب ولتاژ بالا

موتورهای الکتریکی

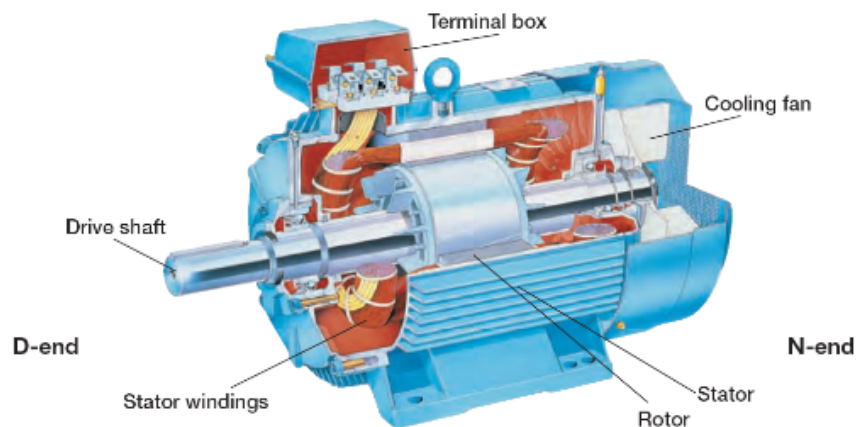
موتورهای الکتریکی، انرژی الکتریکی را به کار مکانیکی تبدیل می کنند. موتورهای الکتریکی از توان تولید شده به وسیله میدان مغناطیسی روی یک هادی الکتریکی و گشتاور تولید شده استفاده می کنند. موتورهای تشکیل شده اند از یک استاتور ثابت و یک روتور که بوسیله یک فاصله هوایی از هم جدا شده اند.

بسته به برق انتخاب شده و یا در دسترس، انواع موتورهای زیر موجود می باشند:

- موتورهای DC

- موتورهای AC تک فاز

- موتورهای سه فاز



موتورهای الکتریکی جریان متناوب تک فاز



موتورهای القایی تک فاز برای توان های کم تا تقریباً ۳ کیلووات ساخته می شوند. این موتورها به منبع اصلی تک فاز که عموماً ۲۳۰ ولت است متصل می شوند. موتورهای تک فاز می توانند به یک منبع سه فاز با ولتاژ ستاره (U) متصل شوند.

از آنجا که منبع برق تک فاز نمی تواند برای موتور جهت چرخش تعریف کند، بنابراین نمی تواند از حالت سکون به حرکت در آید. برای این منظور یک سیم پیچ کمکی (سیم پیچ راه انداز) که از یک خازن تغذیه کند به استاتور متصل می شود. جریان سیم پیچ کمکی از فاز استاتور تأمین می شود. به این طریق میدان مغناطیسی در یک جهت از پیش تعریف شده تولید می شود.

به عنوان یک قانون، خازن دائمی برای پمپ های سانتریفیوژ مناسب می باشد. گشتاور راه اندازی تولید شده ۰.۳ تا ۰.۴ گشتاور نامی می باشد. اگر این مقدار ناکافی باشد می توان خازن های راه انداز و دائمی را متصل کرد. با این کار گشتاور تولید شده ۱.۵ تا ۱.۸ برابر گشتاور نامی می شود. خازن راه انداز با دور گرفتن موتور بوسیله سویچ گریز از مرکز از مدار خارج می شود.

موتورهای سه فاز

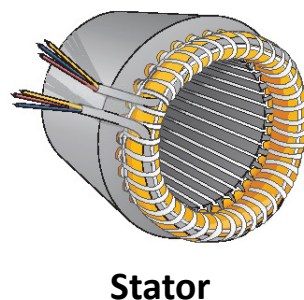
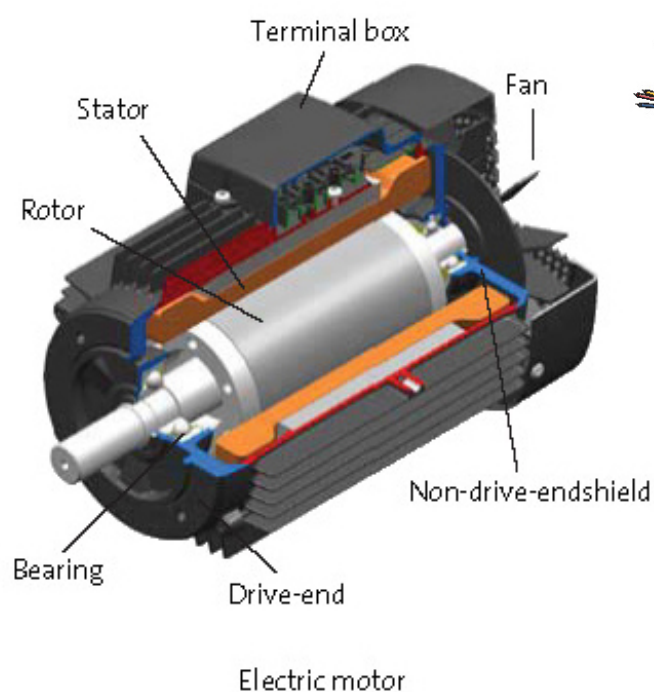


موتورهای القایی سه فاز به صورت ولتاژ پایین و ولتاژ بالا ساخته می شوند. محدوده بالایی توان برای موتورهای ولتاژ پایین تقریباً ۸۰۰ کیلووات است. موتورهای ولتاژ بالا تقریباً از توان ۱۶۰ کیلووات شروع می شوند، اگرچه مشخصاً در محدوده ۱ تا ۱۱ مگاوات مورد استفاده قرار می گیرند.

موتورهای سه فاز در انواع زیر وجود دارد:

- **موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون**
- موتورهای رینگ لغزش سه فاز
- موتورهای سنکرون

موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون سه فاز



این نوع از موتور، بازار اصلی محرکه های پمپ های سانتریفیوژ را تشکیل می دهد. اصولاً مشخصه های عملکرد این موتورها نیازهای پمپ های سانتریفیوژ را پوشش می دهد و سادگی عملکرد مکانیکی آن به سختی بهتر از این خواهد شد. روتور نیاز به منبع برق ندارد و بنابراین نیاز به کموتاتور، رینگ های لغزان یا جاروبک نیست و صرف نظر از یاتاقان ها قطعات سایشی وجود ندارد.

متداولترین ماشین های مورد استفاده بر اساس توان خروجی و ابعاد، استاندارد سازی شده اند و بنابراین فرایند طراحی محرکه پمپ ساده شده است.

موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون سه فاز

اگر سیم پیچ های استاتور به منبع اصلی برق با ولتاژ و فرکانس ثابت متصل شود، میدان مغناطیسی ایجاد می شود که حول استاتور با **سرعت سنکرون** می چرخد.

$$n_{syn} = f/p \cdot 120 \text{ (rpm)}$$

که:

f: فرکانس تغذیه به هرتز و P: تعداد قطب های سیم پیچ استاتور

تعداد قطب ها	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸
۵۰ هرتز	۳۰۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	۷۵۰	۶۰۰	۵۰۰	۴۲۸	۳۷۵	۳۳۳
۶۰ هرتز	۳۶۰۰	۱۸۰۰	۱۲۰۰	۹۰۰	۷۲۰	۶۰۰	۵۱۴	۴۵۰	۴۰۰

سرعت سنکرون n_{syn} به rpm در $f=50, 60 \text{ Hz}$ برای تعداد قطب های مختلف

روتور با سرعت کمی کمتر (آسنکرون) از سرعت سنکرون می چرخد.

این اختلاف، لغزش S نام دارد و به صورت درصدی از سرعت سنکرون بیان می شود.

توان نامی	۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰	۱	kW
لغزش S_N	۰,۸ تا ۰,۵	۱,۶ تا ۰,۷	۴ تا ۳	۹ تا ۶	%

لغزش S_N برای توان های نامی مختلف (مقادیر راهنما)

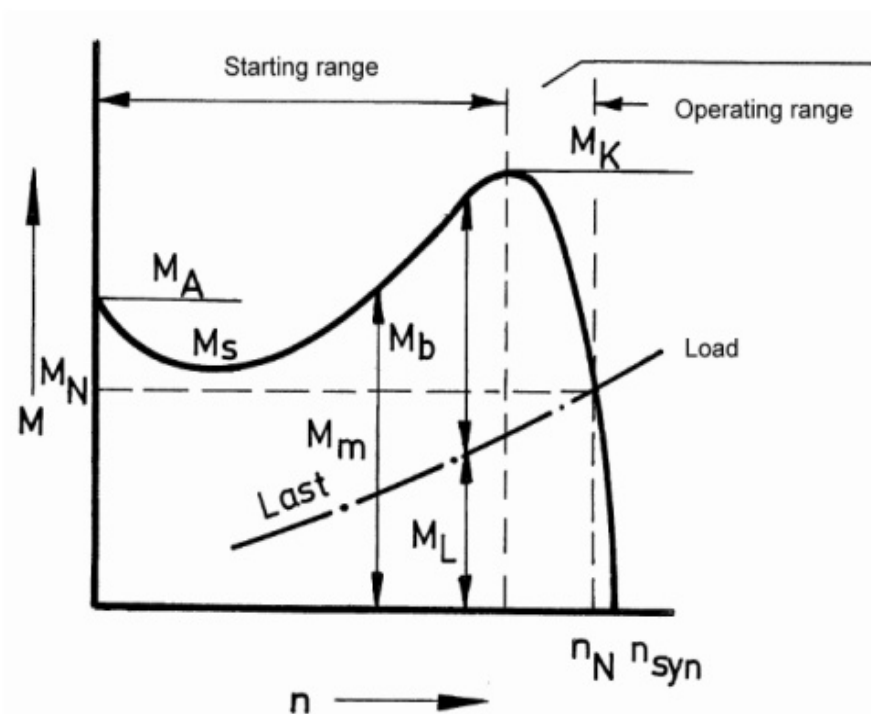
مقادیر کمتر برای موتورهای ۲ قطبی و مقادیر بالاتر برای موتورهای ۸ قطبی می باشد.

$$S = \frac{n_{syn} - n}{n_{syn}} \cdot 100 \%$$

سرعت موتور (سرعت آسنکرون) برابر خواهد بود با:

$$n = n_{syn} \left(1 - \frac{S}{100} \right) \text{ [rpm]}$$

منحنی مشخصه گشتاور / سرعت



منحنی مشخصه گشتاور / سرعت موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون

M_A : گشتاور راه اندازی

M_K : Pull out گشتاور پول آت

M_L : گشتاور بار

M_m : گشتاور موتور

M_N : گشتاور نامی

M_S : Pull up گشتاور پول آپ

n_N : سرعت نامی

n_{syn} : سرعت سنکرون

از آنجا که گشتاور حرکتی پمپ

های سانتریفیوژ با توان دوم سرعت

افزایش می یابد، کلاس گشتاور

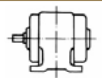
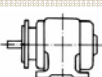
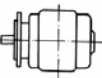
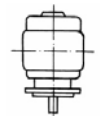
(روتور) موتور عموماً پیامد کمی

برای راه اندازی پمپ دارد و

همیشه گشتاور شتاب دار

M_{bmi} کافی در دسترس است.

ساختمان موتورهای الکتریکی

کد ۱	کد ۲	شکل	ساختمان
ماشین های با محور افقی			
IM B3	IM 1001		دو یاتاقان در دو انتها با پایه، نصب پایه دار
IM B35	IM 2001		دو یاتاقان در دو انتها، محفظه با پایه، فلنج شده در سمت محرکه، نصب پایه دار به همراه نصب فلنج اضافی
IM B5	IM 3001		دو یاتاقان در دو انتها، محفظه بدون پایه، فلنج شده در سمت محرکه، نصب فلنجی. توصیه می شود این نوع ساختمان تا فریم سایز ۲۰۰ (۳۷ کیلووات، ۳۰۰۰ دور، ۳۰ کیلووات ۱۵۰۰ دور) استفاده شود. برای توان های بالاتر ساختمان IM B35 می تواند استفاده شود.
ماشین های با محور عمودی			
IM V1	IM 3011		دو یاتاقان در دو انتها، فلنج شده در سمت محرکه، سطح فلنج رو به پایین است. با این ساختمان یک کاور محافظتی توصیه می شود. برای موتورهای ضد انفجار این یک دستورالعمل است.

انواع ساختمان و نوع نصب موتورهای الکتریکی در استاندارد اروپایی (BS4999 pt 107), IEC 34-7, استانداردسازی شده است.

متداولترین انواع ساختمان قابل کاربرد در محرکه های پمپ های سانتریفیوژ در جدول روبرو فهرست شده است.

کلاس حفاظتی تجهیزات الکتریکی – کد IP

1 st Digit	Symbol	Solid Object Protection	2 nd Digit	Symbol	Water Protection
0		Not protected	0		Not protected
1		Protected against solid objects greater than 50mm	1		Protected against vertically dripping water
2		Protected against solid objects greater than 12.5mm	2		Protected against dripping water when tilted up to 15°
3		Protected against solid objects greater than 2.5mm	3		Protected against spraying water
4		Protected against solid objects greater than 1.0mm	4		Protected against splashing water
5		Protected from the amount of dust	5		Protected against jetting water
6		Dust tight	6		Protected against powerfully jetting water
			7		Protected against temporary immersion in water
			8		Protected against continuous immersion in water

کد IP (حفاظت بین المللی) مطابق با استانداردهای IEC 34-5, EN 60529 (BS 4999 Pt 105) محافظت در برابر تماس افراد و نفوذ ذرات و مایعات به داخل تجهیزات الکتریکی را توصیف می کند.

محافظت شامل موارد زیر می باشد:

- محافظت در برابر تماس انسان با قطعات دارای جریان یا در حال حرکت داخل محفظه و جلوگیری از ورودی اجسام خارجی

- محافظت تجهیز از ورود آب

درجه حفاظت بوسیله یک کد عددی که با IP شروع می شود و دو رقم بعد از آن، نامگذاری می شود.

کلاس حفاظتی تجهیزات الکتریکی – کد IP

رقم اول	محافظت در برابر تماس و اجسام خارجی
0	محافظت ویژه ای ندارد.
1	محافظت در برابر ورودی اجسام خارجی بزرگتر از ۵۰ میلیمتر، اما محافظت در برابر ورود عمدی ندارد.
2	محافظت در برابر ورود اجسام خارجی بزرگتر از قطر ۱۲ میلیمتر. محافظت در برابر تماس انگشتان با قطعات در حال حرکت یا دارای جریان برق
3	محافظت در برابر ورود اجسام خارجی بزرگتر از قطر ۲.۵ میلیمتر. محافظت در برابر تماس ابزارآلات یا سیم ها
4	محافظت در برابر ورود اجسام خارجی بزرگتر از قطر ۱ میلیمتر. محافظت در برابر تماس ابزارآلات یا سیم ها
5	محافظت در برابر گرد و خاک مضر. نفوذ گرد و خاک ممانعت نشده است، اما به اندازه ای که به عملکرد ماشین صدمه نزنند، جمع نمی شود. محافظت کامل در برابر تماس با قطعات دارای جریان برق یا در حال حرکت.
6	محافظت کامل در برابر گرد و خاک محافظت کامل در برابر تماس

رقم دوم	محافظت در برابر آب
0	محافظت ویژه ای ندارد.
1	محافظت در برابر قطرات آب که به صورت عمودی می افتد بدون اثر مضر
2	محافظت در برابر قطرات آب که به صورت عمودی می افتد بدون اثر مضر پوسته موتور ممکن است تا ۱۵ درجه از وضعیت عادی خود بلند شود بدون آنکه اثر مضرى داشته باشد.
3	محافظت در برابر ریزش آب در هر زاویه ای تا ۶۰ درجه بدون اثر مضر. آب اسپری شده
4	محافظت در برابر ریزش آب در هر زاویه ای بدون اثر مضر. آب اسپری شده / پاشیده شده
5	محافظت در برابر آب اسپری شده از یک نازل در هر زاویه ای، که نباید اثر مضر داشته باشد. آب با شلنگ پاشیده شده
6	محافظت در برابر غوطه وری در آب، به عنوان مثال موج دریا، که نباید آب به اندازه ای داخل محفظه شود که اثر مضر داشته باشد.
7	محافظت در برابر آب وقتی دستگاه در یک فشار و مدت زمان مشخص داخل آب مستغرق شده است. آب نباید به داخل محفظه تا اندازه ای نفوذ کند که به دستگاه آسیب برساند.
8	محفظه برای استغراق کامل و پایدار در آب تحت شرایط تعریف شده توسط سازنده، طراحی شده است.

کلاس حفاظتی تجهیزات الکتریکی – کد IP

مثال ۱: موتور الکتریکی با درجه حفاظت IP 55 چه حفاظتی دارد؟

حل: با توجه به جدول IP می توان نوشت:

عدد ۵ دهگان (محافظت در برابر تماس و اجسام خارجی): محافظت در برابر گرد و خاک مضر. نفوذ گرد و خاک ممانعت نشده است، اما به اندازه ای که به عملکرد ماشین صدمه نزنند، جمع نمی شود. محافظت کامل در برابر تماس با قطعات دارای جریان برق یا در حال حرکت.

عدد ۵ یکان (محافظت در برابر آب): محافظت در برابر آب اسپری شده از یک نازل در هر زاویه ای، که نباید اثر مضر داشته باشد. محافظت در برابر آب با شلنگ پاشیده شده



کلاس حفاظتی تجهیزات الکتریکی – کد IP

مثال ۲: موتور الکتریکی با درجه حفاظت IP 67 چه حفاظتی دارد؟

حل: با توجه به جدول IP می توان نوشت:

عدد ۶ دهگان (محافظت در برابر تماس و اجسام خارجی): محافظت کامل

در برابر گرد و خاک و محافظت کامل در برابر تماس

عدد ۷ یکان (محافظت در برابر آب): محافظت در برابر آب وقتی دستگاه در

یک فشار و مدت زمان مشخص داخل آب مستغرق شده است. آب نباید به داخل

محفظه تا اندازه ای نفوذ کند که به دستگاه آسیب برساند.



کلاس حفاظتی تجهیزات الکتریکی – کد IP



IP 23 Motor

- موتور کولرهای آبی، درجه حفاظت **IP 22** یا **IP 23** دارد.
- تابلوهای الکتریکی که حساسیت کمتری داشته باشند، ممکن است درجه حفاظت **IP 44** داشته باشند.
- موتورهای الکتریکی صنعتی که در خشکی نصب می شوند و حساسیت کمتری داشته باشند، ممکن است درجه حفاظت **IP 54** داشته باشند.
- موتورهای الکتریکی صنعتی که در خشکی نصب می شوند معمولاً درجه حفاظت **IP 55** دارند.
- تابلوهای الکتریکی صنعتی معمولاً درجه حفاظت **IP 55** دارند.
- موتورهای الکتریکی صنعتی که در کشتی و یا فراساحل نصب می شوند معمولاً درجه حفاظت **IP 56** دارند.
- تجهیزات ابزار دقیق مانند سوئیچ های فشار، ترانسمیترها و نظایر آن معمولاً درجه حفاظت **IP 65** دارند.
- الکتروپمپ های مستغرق که داخل آب غوطه ور می باشند، درجه حفاظت **IP 68** دارند.

خنک کاری موتورهای الکتریکی

IC 4 A 1 A 1

method of movement of secondary coolant - 1 = self circulation

secondary coolant - A = air

method of movement of primary coolant - 1 = self circulation

primary coolant - A = air

circuit arrangement - 4 = frame surface cooled

روش خنک کاری مطابق استاندارد IEC 34-6, EN 60034-6, (BS4999 pt 106) تعریف می شود. کلاس خنک کاری بوسیله یک کد عددی که با IC شروع می شود و تعدادی رقم و حروف بعد از آن، نامگذاری می شود.

فرم ساده شده:

اگر خطر ابهام وجود نداشته باشد، حرف A مربوط به هوا می تواند حذف شود، بنابراین شکل ساده شده خواهد بود: IC 411

روش استاندارد خنک کاری موتورهای القایی سه فاز با کلاس محافظتی IP 55 سیستم IC 411 است. این روش شامل خنک کاری سطح موتور با هوا، محفظه صاف یا فین دار برای موتور و یک فن که روی محور نصب شده است، می باشد.

کلاس عایقی موتورهای الکتریکی

عایق سیم پیچ ها مطابق با استاندارد IEC 34-1 به کلاس های دمایی طبقه بندی می شود.

عموماً موتورهای سه فاز با کلاس عایقی F ساخته می شوند

عایق	ΔT اندازه گیری شده با روش مقاومتی	T_{max} با دمای خنک کاری 40 °C برای هوا
کلاس B	80 K	125 °C
کلاس F	105 K	155 °C
کلاس H	125 K	180 °C

افزایش دما (ΔT) و دمای ماکزیمم در داغ ترین نقطه در سیم پیچی (T_{max}) مطابق استاندارد IEC 34-1

استانداردهای IEC و NEMA مفهومی به نام کلاس Temperature

Rise معرفی نکرده اند. اما در صنعت بسیار متداول است که

Temperature Rise با کلاس B (یعنی افزایش دمای ۸۰ درجه) را

برای موتورهای با کلاس عایقی F در نظر می گیرند. در واقع این موتورها

F/B هستند. تخمین زده شده است که موتورهای F/B طول عمر

حدود ۵ برابر بیشتر از موتورهای کلاس عایقی F دارند.

انواع Enclosure موتورهای الکتریکی

ODP



مطابق با استاندارد NEMA بیش از ۲۰ نوع پوشش Enclosure برای موتورهای الکتریکی معرفی شده است که پوشش Totally Enclosed Fan Cooled (TEFC) متداولترین نوع پوشش برای موتورهای الکتریکی است که برای کاربردهای پمپ ها استفاده می شود. پوشش Open Drip Proof (ODP) در کاربردهای Indoor و در فضاهایی که نسبتا تمیز و خشک هستند (به ندرت) استفاده می شود.

TEFC



در موتورهای ODP هوا اجازه می یابد که داخل سیم پیچ های موتور گردش و خنک کاری نماید. در موتورهای TEFC از تبادل هوا در داخل و بیرون محفظه موتور جلوگیری بعمل می آید (اما محفظه کاملا عایق هوا نیست). یک فن به محور موتور متصل شده است و هوا را روی محفظه به جریان می اندازد و خنک کاری انجام می شود.

فاکتور سرویس کاری (SF) Service Factor

- فاکتور سرویس کاری بیانگر این است که موتور چقدر اضافه بار را در شرایط نرمال ولتاژ کاری می تواند تحمل کند. برای مثال، SF استاندارد برای موتورهای ODP ۱,۱۵ است. این بدین معناست که یک موتور ۱۰ اسب بخار با فاکتور سرویس کاری ۱,۱۵ می تواند ۱۱,۵ اسب بخار را در صورت نیاز برای کارکردهای کوتاه مدت تأمین کند. برخی موتورهای کوچک ممکن است SF بالاتری داشته باشند مثلاً ۱,۲۵ یا ۱,۳۵ و حتی ۱,۵. عموماً، توصیه نمی شود موتورها را برای کارکرد بالای بار نامی در محدوده SF سباز کنند. ممکن است موتور نتواند گشتاور کافی راه اندازی Pull-out را تأمین کند و همچنین ممکن است مشکلاتی برای سبازینگ نامناسب استارت و رله اضافه بار بوجود آید.

غالباً، موتورهای TEFC فاکتور سرویس کاری ۱,۰ دارند.

SEW-EURODRIVE				
76646 Bruchsal/Germany				
S47 DRE80M4				
01.1737892719.0001.11			Inverter duty VPWM	3~IEC60034
50 Hz	n/min 1435/58	V 220-242Δ/380-420Y	IP 54	
kW 0.75 S1	A 3,05/1,75	Cos φ 0,79	eff% 81,0 IE2	
kW 0.75 S1	A 2,65/1,52	Cos φ 0.76	eff% 83,7 IE2	
60 Hz	n/min 1745/70	V 254-277Δ/440-480Y		
Iso. Cl. 130(B)	S.F. 1.0	ML03		
i 24,77	Nm102/84	IMM1A		
效率	 CLP 680 Miner.Oil/0.35 l			
81,0	kg 21.873	AMB	188 572 3.53	Made in Germany

کلاس کاری Duty Class

Code	Name	Description	Typical applications	Abbreviation & example
S1	Continuous running duty	Once started, the motor works at a constant load at least until thermal equilibrium is reached. Then that motor may be operated for an unlimited period.	Hydraulic pumps, fans, blowers	S1
				S1
S2	Short-time duty	Once started, the motor works at a constant load for a limited period and thermal equilibrium is not reached. Motor will be started a second time then when its temperature has decreased to room temperature (starting conditions are restored).	Household appliances like eggbeaters, hairdryer and so on	S2 + duration of the duty
				S2 30 min
S3	Intermittent periodic duty	A sequence of identical duty cycles, made up with a time of operation at constant load and a time at rest. When at rest, the motor is not fed. Starting current does not significantly influence temperature rise.	Lifting motors	S3 + cyclic duration factor*
				S3 25 %
S6	Continuous-operation periodic duty	A sequence of identical duty cycles, made up with a time of operation at constant load and a time of operation at no-load. When at rest, the motor is fed.	Saw machines for wood, oil pressure pumps	S6 + cyclic duration factor*
				S6 40 %

- در جدول روبرو، متداول ترین

کلاس های کاری الکتروموتورها

نشان داده شده است.

- انواع کلاس های کاری در

استاندارد IEC 60034-1

بیان شده است.

- موتور سازها به صورت پیش فرض

کلاس کاری S1 را در نظر می گیرند.

ضریب قدرت (COS φ) Power Factor

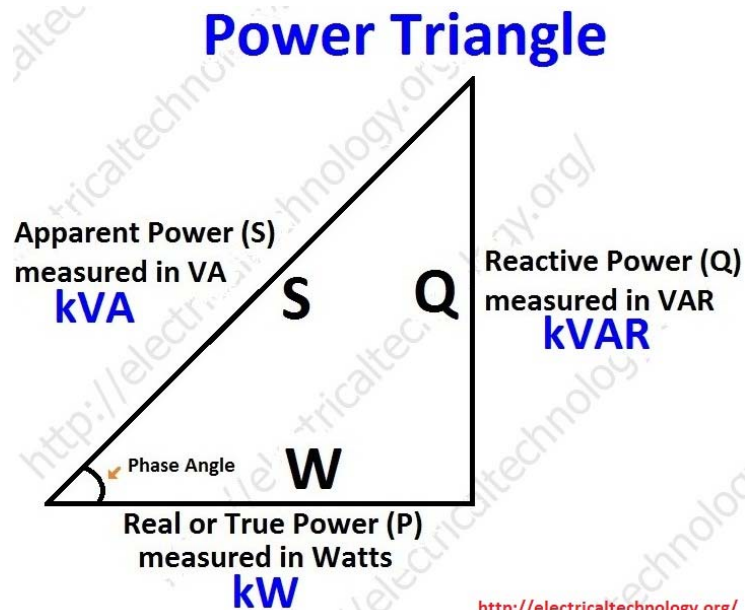
ضریب $\cos\phi$ که در محاسبه توان اکتیو ظاهر می شود به نام ضریب قدرت شناخته شده است. این ضریب بیان کننده نسبت توان اکتیو به توان ظاهری است.

$$\cos\phi = \frac{P_w}{P_s}$$

بنابراین ضریب قدرت $\cos\phi$ معیاری از قسمتی از توان ظاهری است که به شکل دیگری از انرژی تبدیل شده است و بنابراین یک ضریب مصرف است.

توان فعال برابر است با:

$$P_w = \frac{I \cdot \cos\phi \cdot U \cdot \sqrt{3}}{1000} \quad [kW]$$



ضریب قدرت Power Factor (COS ϕ) – ادامه

به طور کلی می توان گفت بازده و ضریب قدرت:

- با افزایش توان موتور افزایش می یابد.
- با کاهش توان موتور کاهش می یابد.

توان نامی kW	1	10	100	1000
ضریب قدرت $\cos\phi$	0.81 – 0.84	0.84 – 0.85	0.86 – 0.88	0.89 – 0.93

ضریب قدرت $\cos\phi$ برای توان های نامی مختلف (مقادیر راهنما)

مقادیر کمتر برای موتورهای الکتریکی ۴ قطبی و مقادیر بیشتر

برای موتورهای الکتریکی ۲ قطبی می باشد.

ضریب قدرت Power Factor (COS ϕ) – ادامه

1/2 بار کامل	3/4	4/4	5/4	1/2 بار کامل	3/4	4/4	5/4
0.86	0.90	0.92	0.92	0.69	0.79	0.83	0.84
0.85	0.89	0.91	0.91	0.67	0.77	0.82	0.83
0.83	0.88	0.90	0.90	0.66	0.76	0.81	0.82
0.80	0.86	0.89	0.89	0.65	0.75	0.80	0.81
0.78	0.85	0.88	0.88	0.63	0.74	0.79	0.80
0.76	0.84	0.87	0.87	0.61	0.72	0.78	0.80
0.75	0.83	0.86	0.86	0.59	0.71	0.77	0.79
0.73	0.81	0.85	0.86	0.58	0.70	0.76	0.78
0.71	0.80	0.84	0.85	0.56	0.69	0.75	0.78

تغییر ضریب قدرت $\cos\phi$ در بارهای جزئی

منظور از مقادیر برای 4/4 بار کامل یعنی مقدار $\cos \phi$ داده شده توسط سازنده در توان نامی. مقادیر در بارهای جزئی به صورت میانگین می باشند.

– مطابق استاندارد EN 60034 تیرانس های زیر

$$\text{به کار می رود: } \frac{1 - \cos\phi}{6}$$

در محدوده حداقل 0.02 و حداکثر 0.07

راندمان موتورهای الکتریکی

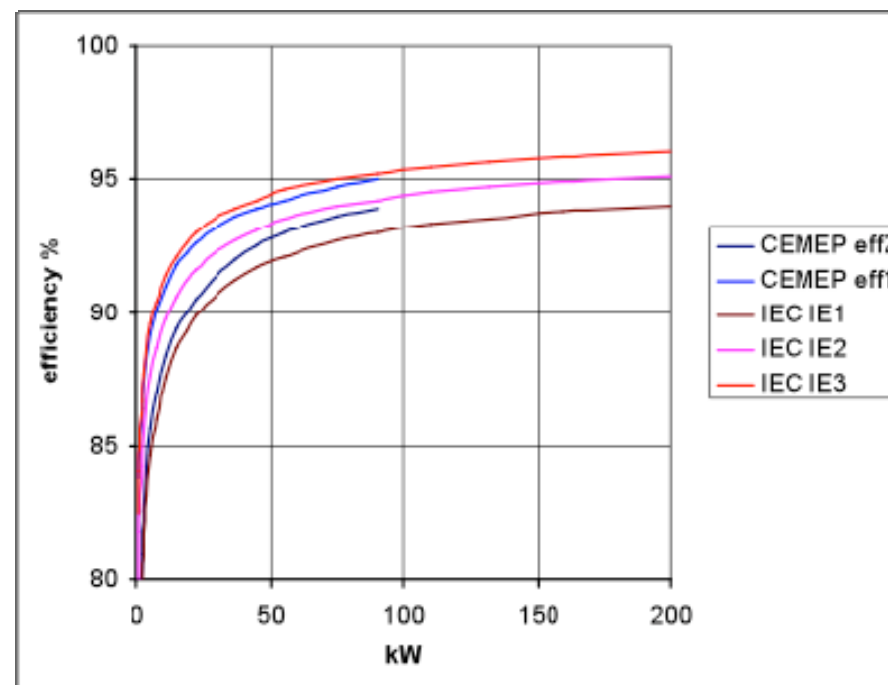
توان نامی kW ۲ قطب و ۴ قطب	1.1	11	110	1000
راندمان η_N به %	eff 2 77 eff 1 84	eff 2 89 eff 1 91	eff 3 95	eff 2 97

به % برای توان های نامی مختلف (مقادیر راهنما) η_N بازده

eff: بازده استاندارد

eff 2: بازده بهبود داده شده

eff 1: بازده بالا



راندمان موتورهای الکتریکی – ادامه

½ بار کامل	¾	4/4	5/4	½ بار کامل	¾	4/4	5/4
96	97	97	96.5	81	82	82	80.5
95	96	96	95.5	80	81	81	79.5
93.5	95	95	94.5	79	80	80	78.5
92.5	94	94	93.5	77	79.5	79	77.5
91.5	93	93	92.5	75.5	78.5	78	76.5
91	92	92	91.5	74	77.5	77	75
90	91	91	90	73	76	76	74
89	90	90	89	72	75	75	73
88	89	89	88	71	74	74	72
87	88	88	87	70	73	73	71
86	87	87	86	68	72	72	70
85	86	86	85	67	71	71	69
84	85	85	83.5	66	70	70	68
83	84	84	82.5	65	69	69	67
82	83	83	81.5	64	67.5	68	66

منظور از مقادیر برای 4/4 بار کامل یعنی مقدار بازده داده شده توسط سازنده در توان نامی. مقادیر در بارهای جزئی به صورت میانگین می باشند.

مطابق استاندارد EN 60034 تفرانس های زیر به کار می رود:

برای توان های نامی مساوی و کمتر از ۵۰ کیلووات: $(1-\eta) 0.15$ -

برای توان های نامی بزرگتر از ۵۰ کیلووات: $(1-\eta) 0.1$ -

که η به صورت اعشاری می باشد.

تأثیر دمای محیط و ارتفاع از سطح دریا

دمای محیط (KT) به درجه سانتیگراد						ارتفاع از سطح دریا (AH)
۶۰	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰ - ۳۰	< ۳۰	
۰,۸۲	۰,۸۷	۰,۹۲	۰,۹۶	۱,۰۰	۱,۰۷	۱۰۰۰
۰,۷۹	۰,۸۴	۰,۸۹	۰,۹۳	۰,۹۷	۱,۰۴	۱۵۰۰
۰,۷۷	۰,۸۲	۰,۸۶	۰,۹۰	۰,۹۴	۱,۰۰	۲۰۰۰
۰,۷۴	۰,۷۸	۰,۸۳	۰,۸۶	۰,۹۰	۰,۹۶	۲۵۰۰
۰,۷۰	۰,۷۵	۰,۷۹	۰,۸۲	۰,۸۶	۰,۹۲	۳۰۰۰
۰,۶۷	۰,۷۱	۰,۷۵	۰,۷۹	۰,۸۲	۰,۸۸	۳۵۰۰
۰,۶۳	۰,۶۷	۰,۷۱	۰,۷۴	۰,۷۷	۰,۸۲	۴۰۰۰

ضرایب تصحیح برای ارتفاع از سطح دریا (AH) و دمای محیط (KT)

توان نامی موتورها بر مبنای شرایط نصب تعریف می شود.

توان نامی برای دمای محیط ۴۰ درجه سانتیگراد و ارتفاع از سطح دریا تا ۱۰۰۰ متر معتبر می باشد.

برای دیگر شرایط نصب توان خروجی باید مطابق جدول روبرو اصلاح شود.

تأثیر دمای محیط و ارتفاع از سطح دریا – ادامه



anti-condensation heater

برای شرایط بسیار بد آب و هوایی، مثلاً وقتی که دمای محیط کمتر از 40°C - یا رطوبت نسبی بالای ۹۵٪ است، استفاده از هیتر ضد کندانس anti-condensation heater توصیه می شود. نصب هیتر باعث می شود که از بروز مشکلات در راه اندازی موتور به خاطر دمای بسیار پایین و یا آسیب عایق سیم پیچ ها به خاطر ظهور شبنم ممانعت بعمل آید.

برای شرایطی که امکان دارد رطوبت نسبی هوا بین ۹۰ تا ۱۰۰ درصد در مدت زمان طولانی وجود داشته باشد، عایق مخصوص نواحی گرمسیری ضروری می باشد.

اتصال ستاره و مثلث

ولتاژ سیم پیچ	ولتاژ کاری در ۵۰ هرتز	برای راه اندازی مستقیم یا روتور رینگ لغزان	برای راه اندازی ستاره - مثلث
230 Δ / 400 Y	230	230 Δ	230 Δ
	400	400 Y	-
400 Y 400 Δ	400	400 Y	-
	400	400 Δ	400 Δ
400 Δ / 690 Y	400	400 Δ	400 Δ
	690	690 Y	-

اتصال در حال کار موتورهای قفس سنجابی سه فاز

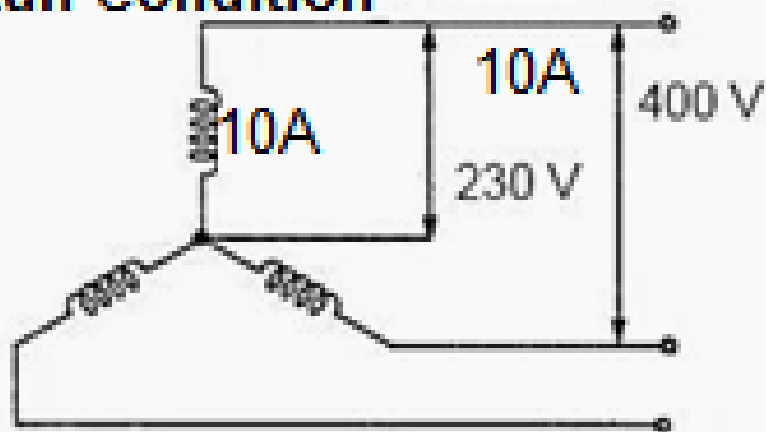
اتصال موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون سه فاز به منبع برق اصلی

موتورهای سه فاز به هادی های سه فاز L1, L2 و L3 متصل شده اند. عموماً سیم پیچ ها به یکی از دو روش ستاره یا مثلث به هم متصل می شوند.

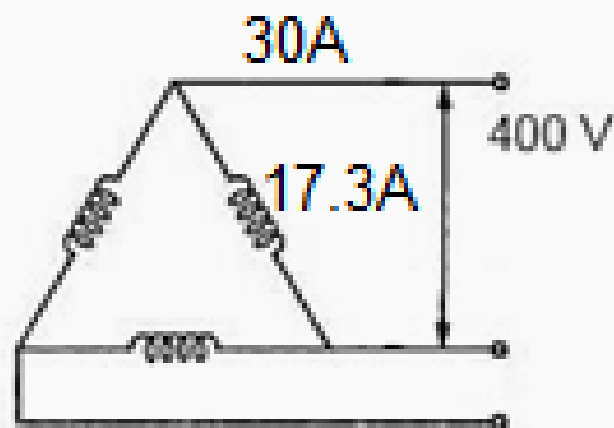
جدول زیر اتصالات ممکن برای موتورهای قفس سنجابی در ارتباط با سیم پیچی و ولتاژ شبکه را نشان می دهد.

اتصال ستاره و مثلث

Torque & i/p Power = 1/3 of Run Condition

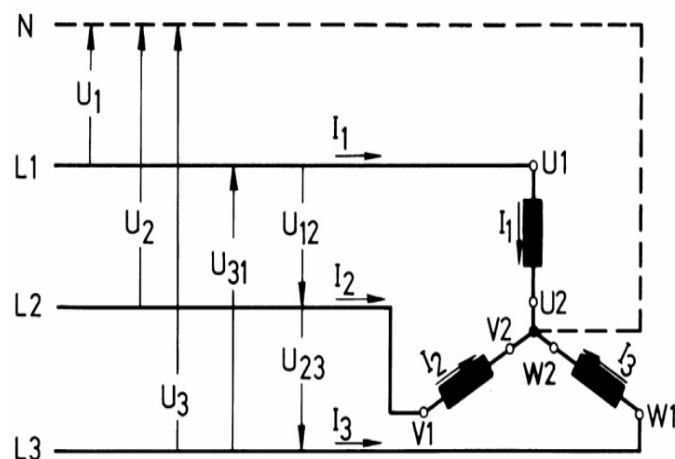


Star Connection

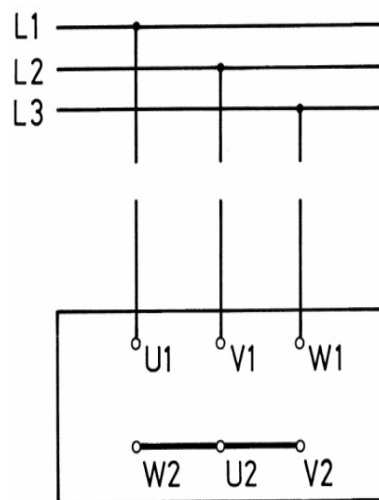


Delta Connection

اتصال ستاره



$$P_{\text{Phase}} = \frac{\sqrt{3}}{3} U_{L-L} \cdot I_{\text{Line}} \cdot \cos\varphi$$



اتصال ستاره Y

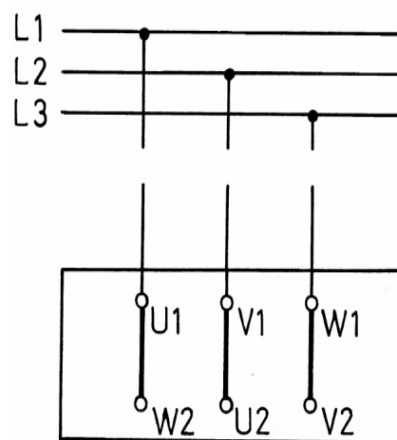
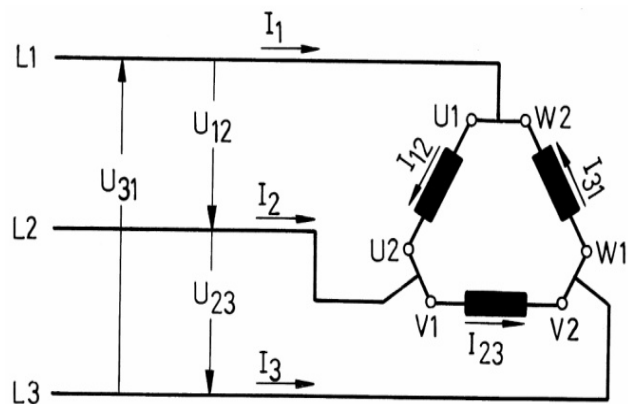
سرهای انتهایی سیم پیچ ها U2, V2 و W2 به هم متصل می شوند. ولتاژهای فاز در سیم پیچ ها برابر با ولتاژ ستاره (ولتاژ فاز) منبع برق و جریان ها در سیم پیچ ها برابر با جریان منبع برق است.

- ولتاژ هر فاز برابر $\frac{\sqrt{3}}{3}$ ولتاژ خط به خط است. یعنی اگر ولتاژ خط ۴۰۰ ولت باشد، ولتاژ هر فاز برابر با ۲۳۰ ولت است.

اتصال مثلث

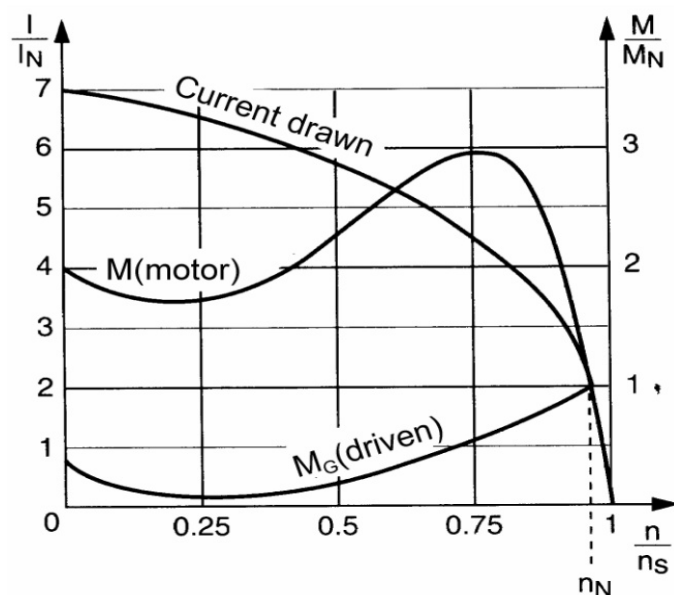
انتهای یک سیم پیچ فاز به سر سیم پیچ بعدی متصل شده است. ولتاژ فاز در سیم پیچ ها برابر با ولتاژ خط منبع برق و جریان سیم پیچ ها به هم ارتباط دارد و با همدیگر تشکیل جریان خط را می دهد.

- ولتاژ هر فاز برابر با ولتاژ خط است.



$$P_{\text{Phase}} = U_{L-L} \cdot \frac{\sqrt{3}}{3} I_{\text{Line}} \cdot \cos\varphi$$

انواع راه اندازی موتورهای قفس سنجابی



منحنی مشخصه نمونه ای راه اندازی

مستقیم D.O.L

راه اندازی مستقیم D.O.L

راه اندازی مستقیم به همان اندازه که ایده آل است، ساده نیز می باشد. موتور به طور مستقیم به شبکه ولتاژ از طریق کانتکتورها متصل می شود. در لحظه اتصال جریان راه اندازی ۴ تا ۷ برابر جریان نامی از خط کشیده می شود.

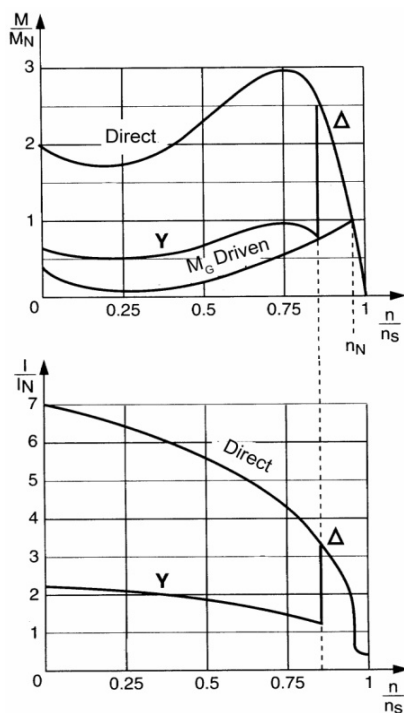
در نتیجه ولتاژ در شبکه اصلی کاهش و مصرف کننده های دیگر ممکن است تحت تأثیر قرار گیرند. به همین دلیل مسئولین شبکه برق محدودیت هایی برای اندازه موتورها (مثلاً تا ۴ کیلووات) برای آنکه بتوان به صورت مستقیم راه اندازی کرد، قرار می دهند. اگرچه حتی اگر موتورهای ولتاژ پایین به طور مستقل به سیستم های شبکه ولتاژ کارخانه متصل شده باشد و اتصال شبکه ولتاژ بالا باشد، این موضوع باید در مرحله طراحی در نظر گرفته شود.

انواع راه اندازی موتورها – ادامه

راه اندازی ستاره – مثلث Δ

اگر لازم باشد تا جریان راه اندازی به خاطر محدودیت های شبکه، کاهش یابد، روش راه اندازی ستاره – مثلث Δ می تواند یک امکان باشد.

برای راه اندازی ستاره – مثلث، کلید ستاره مثلث یا ترکیبی از کلیدهای ساده استفاده می شود. در این حالت تمامی شش انتهای سیم پیچ ها به آن متصل می شود. راه اندازی در اتصال ستاره انجام می شود. در اتصال ستاره ولتاژ فاز تنها $1/\sqrt{3}$ برابر ولتاژ خط در مقایسه با اتصال مثلث (اتصال در حال کار موتور) که ولتاژ کامل خط به فاز منتقل می شود، است. از آنجا که گشتاور تقریباً متناسب با مربع ولتاژ است، به $1/3$ مقدار در حال کار موتور کاهش می یابد. **جریان نیز به طور مشابه به $1/3$ مقدار جریان در حالت مثلث کاهش می یابد.** همانطور که موتور به سرعت نامی می رسد، کلید به اتصال مثلث، تغییر می کند و یک شوک جریان که وابسته به بار است و ممکن است از محدودیت جریان فراتر رود، اتفاق می افتد.



مثالی از منحنی مشخصه راه اندازی ستاره – مثلث

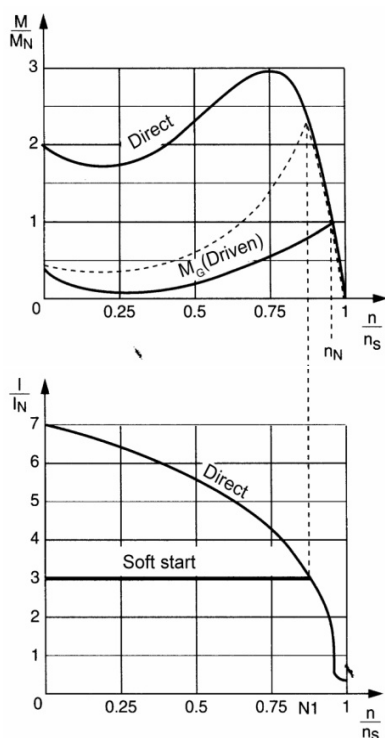
انواع راه اندازی موتورها – ادامه

راه اندازی نرم

راه اندازی نرم با استفاده از کنترل الکترونیکی (نیمه هادی ها) بدست می آید. این روش اجازه می دهد که اندازه جریان راه اندازی مطابق الزامات راه اندازی انتخاب شود. مدت زمان راه اندازی می تواند برنامه ریزی شود و یا محدودیتی برای مقدار جریان قرار داد.

بعد از اینکه راه اندازی کامل و ولتاژ کامل به موتور منتقل شد، راه انداز نرم می تواند توسط یک کلید به منظور کاهش اتلافات از مدار خارج شود.

همچنین راه انداز نرم را می توان به عنوان خاموش کننده نیز استفاده کرد. مدت زمان خاموش شدن پمپ را می توان کنترل کرد تا الزامات مورد نیاز مانند جلوگیری از ضربه قوچ در لوله ها، برآورده شود.



محافظت موتور در برابر افزایش جریان و دما



محافظت موتور معمولاً با رله محافظتی افزایش بار تأخیر دمایی که در راه انداز موتور نصب می شود، انجام می شود.

این دستگاه وابسته به جریان است و از ایجاد گرمای زیاد جلوگیری می کند. افزایش گرما نتیجه ای از افزایش بار، جریان نامتقارن کشیده شده، دو فاز شدن، افزایش فرکانس راه اندازی یا سفت شدن (Jam) شدن روتور می باشد.

به غیر از این، موتور می تواند بوسیله ترمیستور که در سیم پیچ های موتور نصب شده است و به یک دستگاه قطع کن (Trip) متصل شده است، محافظت شود.



این نوع وسیله وابسته به دما است و موتور را در برابر گرمای زیاد سیم پیچ ها به خاطر تغییر زیاد بار یا روشن خاموش شدن های سریع موتور، محافظت می کند. فیوزها و قطع کن ها وسایل محافظتی موتور نیستند ولی تجهیزات شبکه را از جریان های اتصال کوتاه بالا محافظت می کنند.

جداول فنی موتورهای آسنکرون

400 V/3ph/50 Hz

Safe Area

Ex nA II T3

IP 55

TEFC

استاندارد IEC (کمیته بین المللی الکتروتکنیکال) با IEC 72 توصیه هایی برای ابعاد ماشین های الکتریکی منتشر کرده است. این توصیه ها ابعاد محفظه ها، فلنج ها و انتهای محور را پوشش می دهد. ابعاد در ارتباط با ارتفاع خط مرکزی محور (H) از ۵۶ تا ۳۱۵ میلیمتر است. این پارامتر (H) به عنوان سایز فریم موتور نیز تعریف می شود.

به عنوان نتیجه ای از توصیه های IEC، استانداردهایی در کشورهای دیگر برای انواع موتورهای پر مصرف توسعه یافت. این استانداردها ترکیبی از سایز فریم و توان نامی، کلاس حفاظتی و سرعت است. این استانداردها اجازه می دهند فقط با دانستن توان، سرعت و کلاس حفاظتی، فضای مورد نیاز موتور برای نصب در مرحله طراحی بدست آید. برای موتورهای با توان بالاتر و سایز فریم بزرگتر (از ۳۵۵ تا ۴۵۰ میلیمتر)، این استاندارد توسعه یافته است.

جداول فنی (سایز فریم 80 تا 315 L)

Frame size	3000 rpm, 2-pole 50Hz				1500 rpm, 4-pole 50Hz			
	Rated power kW	Efficiency % ¹⁾	Power factor cos φ	Rated current Amp at 400 V	Rated power kW	Efficiency % ¹⁾	Power factor cos φ	Rated current Amp at 400 V
80	0.75	74	0.83	1.8	0.55	71	0.79	1.4
	1.1	76	0.84	2.5	0.75	74	0.79	1.9
90 S	1.5	78	0.82	3.4	1.1	74	0.81	2.7
90 L	2.2	80	0.85	4.7	1.5	74	0.81	3.6
100 L	3	83.5	0.85	6.1	2.2	80	0.82	4.9
					3	81.5	0.83	6.4
112 M	4	85.5	0.88	7.7	4	84	0.83	8.3
132 S	5.5	84.5	0.85	11.1	5.5	86	0.81	11.4
	7.5	86	0.86	14.7				
132 M					7.5	87.5	0.82	15.1
160 M	11	87	0.85	21.4	11	88.5	0.84	21.4
	15	88.5	0.87	28.2				
160 L	18.5	90	0.85	34.7	15	90	0.84	28.5

Frame size	3000 rpm, 2-pole 50Hz				1500 rpm, 4-pole 50Hz			
	Rated power kW	Efficiency % ¹⁾	Power factor cos φ	Rated current Amp at 400 V	Rated power kW	Efficiency % ¹⁾	Power factor cos φ	Rated current Amp at 400 V
180 M	22	92	0.88	39	18.5	90.5	0.83	35
180 L					22	91	0.84	41
200 L	30	92	0.89	53	30	92	0.86	55
	37	93	0.89	65				
225 S					37	93	0.87	66
225 M	45	94	0.89	78	45	93	0.87	80
250 M	55	94	0.91	93	55	94	0.87	97
280 S	75	95	0.90	128	75	95	0.86	132
280 M	90	95	0.91	150	90	95	0.86	160
315 S	110	95	0.90	186	110	95	0.86	194
315 M	132	95	0.90	225	132	95	0.87	230
315 L	160	95	0.91	265	160	96	0.87	275
	200	96	0.92	325				

جداول فنی (سایز فریم 315 تا 400)

Frame size	3000 rpm, 2-pole 50Hz				1500 rpm, 4-pole 50Hz			
	Rated power kW	Efficiency %	Power factor cos φ	Rated current Amp at 400 V	Rated power kW	Efficiency %	Power factor cos φ	Rated current Amp at 400 V
315	250	96	0.90	415	250	96	0.88	425
	315	97	0.91	520	315	96	0.88	540
355	355	97	0.90	590	355	96	0.87	610
	400	97	0.91	660	400	96	0.87	690
	500	97	0.91	820	500	97	0.88	850
400	560	97	0.91	910	560	97	0.88	950
	630	97	0.91	1020	630	97	0.88	1060
	710	97	0.91	670	710	97	0.89	690 ¹⁾
450	800	97	0.91	760	800	97	0.88	780 ¹⁾
	900	97	0.92	840 ²⁾	900	97	0.88	880 ¹⁾
	1000	97	0.93	920 ²⁾	1000	97	0.89	970 ¹⁾

۱) موتورهای Energy saving با وضوح راندمان اروپایی مطابق EU/CEMEP. CEMEP: کمیته اروپایی سازندگان ماشین های الکتریکی و الکترونیکی توانی)

بر پایه توافقنامه EU / CEMEP موتورهای الکتریکی ۲ و ۴ قطبی در محدوده توانی ۱.۱ تا ۹۰ کیلووات کلاس راندمان "eff 2" (راندمان بهبود داده شده) یا "eff 1" (راندمان بالا) دارند.

راندمان های فهرست شده در جدول ۲۳ و ۲۴ بر پایه کلاس راندمان "eff 3" (راندمان استاندارد) می باشد.

در حال حاضر ساخت موتور با کلاس راندمان "eff 3" منسوخ می باشد.

۲) در ولتاژ ۶۹۰ ولت اندازه گیری شده است.

جداول فنی (سایز فریم 160 تا 450)

Frame size	1000 rpm, 6-pole 50Hz				750 rpm, 4-pole 50Hz			
	Rated power kW	Efficiency %	Power factor cos φ	Rated current Amp at 400 V	Rated power kW	Efficiency %	Power factor cos φ	Rated current Amp at 400 V
160 M	7.5	86	0.74	17	5.5	83.5	0.73	13
160 L	11	87.5	0.74	25	7.5	85.5	0.72	18
180 L	15	89.5	0.77	32	11	87	0.75	24
200L	18.5	90	0.77	39	15	87.5	0.78	32
	22	91	0.77	46				
225 S					18.5	89	0.79	38
225 M	30	92	0.77	61	22	90	0.79	45
250 M	37	92	0.86	68	30	92	0.82	58
280 S	45	93	0.86	81	37	93	0.82	70
280 M	55	93	0.86	99	45	93	0.83	84
315 S	75	94	0.86	134	55	93	0.82	104
315 M	90	94	0.86	160	75	94	0.83	138
315 L	110	95	0.86	194	90	94	0.83	166
	132	95	0.86	235	110	94	0.83	206
	160	95	0.86	280	132	94	0.82	245

Frame size	1000 rpm, 6-pole 50Hz				750 rpm, 4-pole 50Hz			
	Rated power kW	Efficiency %	Power factor cos φ	Rated current Amp at 400 V	Rated power kW	Efficiency %	Power factor cos φ	Rated current Amp at 400 V
315	200	96	0.87	345	160	95	0.82	295
	250	96	0.87	430	200	95	0.82	370
355	315	96	0.87	540	250	96	0.82	460
	400	96	0.87	690	315	96	0.82	580
400	450	96	0.86	780	355	96	0.82	650
	500	96	0.87	860	400	96	0.82	730
	560	97	0.87	960	450	96	0.82	820
450	630	97	0.86	1100	500	96	0.81	920
	710	97	0.87	710	560	96	0.81	1040
	800	97	0.87	790	630	96	0.81	1160

الزامات استاندارد API 610

– مطابق بند ۷,۱,۱، موتور باید به نحوی سائز شود که بیشینه شرایط کاری مشخص شده، شامل بیرینگ ها، مکانیکال سیل، گیر بکس، و اتلافات کوپلینگ (هرکدام که کاربرد داشته باشد) را پوشش دهد و باید در تطابق با کاربرد فنی مشخص شده در استعلام و مدارک خرید باشد. موتور باید مناسب برای کارکرد در شرایط سایت مشخص شده باشد.

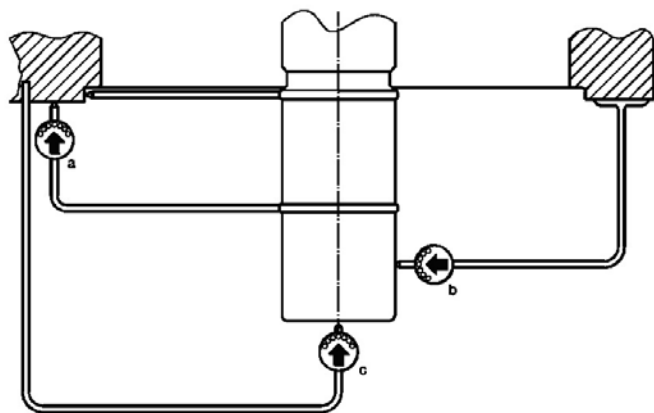
– مطابق بند ۷,۱,۴ توان در شرایط کاری نباید از توان نامی موتور تجاوز نماید. کمترین توان موتور قابل قبول ۴ کیلووات است.

$$P_{Motor.Min} = F_s \times P_{BHP}$$

Table 12 — Power ratings for motor drives

Motor nameplate rating		Percentage of rated pump power
kW	hp	%
< 22	< 30	125
22 to 55	30 to 75	115
> 55	> 75	110

الزامات استاندارد API 610 – ادامه



- | | | |
|---|--|----------------------------------|
| a | Shaft-to-driver mating face perpendicularity and surface flatness. | 25 μm (0,001 in) TIR |
| b | Maximum shaft runout with rotor rotating freely. | 25 μm (0,001 in) TIR |
| c | Maximum axial float. | 125 μm (0,005 in) TIR |

All measurements shall be taken with the assembled driver in the vertical position.

Figure 36 — Vertical pump drivers — Tolerances required for the driver shaft and base

– مطابق بند ۷,۱,۳ اگر طور دیگری مشخص نشده باشد، برای اجزا موتور با وزن بیشتر از ۲۲۵ کیلوگرم، پایه تجهیز باید با جک های پیچی عمودی Vertical jackscrew باشد.

– مطابق بند ۷,۱,۶ اگر طور دیگری مشخص نشده باشد، موتور باید قادر باشد پمپ را در ۸۰ درصد ولتاژ نامی در شرایط شیر فلکه خروجی بسته شتاب دهد و به سرعت کاری برساند.

برخی از پمپ ها با سیستم بای پاس نصب شده اند، در این حالت شرایط راه اندازی جایگزین باید استفاده شود.

– مطابق بند ۷,۱,۷ اگر طور دیگری مشخص نشده باشد، موتورهای پمپ های عمودی باید محور توپر Solid داشته باشند. اگر بیرینگ های محوری پمپ در موتور می باشد، موتورها باید تلرانس های پایه و محور مطابق با شکل ۳۶ را رعایت کنند.