



# WHITE PAPERS

---

ASK-RD-ENG-018

R&D Department

ARYA SEPEHR KAYHAN (ASK) | SHAHID SALIMI INDUSTRIAL CITY, TABRIZ, IRAN

شرکت آریا سپهر کیهان با نام اختصاری ASK، طراح و تولیدکننده پمپ های گریز از مرکز و روتاری و ارائه دهنده راهکارهای بهینه سازی سیستم های فرایندی و پمپاژ می باشد.

---

## توجه!

مقالات تخصصی با عنوان White Papers جهت افزایش دانش عمومی پمپ ها در بخش تحقیق و توسعه این شرکت نگارش شده است. استفاده از این مقالات رایگان می باشد و لازم است جهت استفاده از محتویات آن به موارد ذیل توجه فرمایید:

- 1- انتشار مجدد مطالب مقالات (به شکل اولیه و بدون تغییر در ساختار محتوایی و ظاهری) با ذکر منبع، بلامانع است.
- 2- استفاده تجاری از محتویات مقالات در نشریات مجاز نمی باشد.

## مبانی محرکه های 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.

### ۱. منبع برق

#### ۱.۱. جریان و ولتاژ

جریان الکتریکی حرکت ذرات باردار منفی (الکترون ها) درون مواد رسانا، نیمه رسانا، مایعات (الکترولیت) و گازها است که بار الکتریکی را حمل می کنند.

پتانسیل الکتریکی (ولتاژ) قدرت محرکه برای جریان برق در یک مدار الکتریکی است. جریان یک مدار الکتریکی بیان کننده حرکت ثابت و مداوم و یا متناوب ذرات باردار در یک رسانا می باشد.

#### ۲.۱. منبع جریان مستقیم (DC)

جریان الکتریکی با جهت جریان ثابت به عنوان جریان مستقیم شناخته می شود. ژنراتورهای DC برای تولید جریان مستقیم از منابع غیر الکتریکی استفاده می شوند. از آنجا که منابع اصلی برق جریان متناوب هستند، منبع DC عموماً از جریان متناوب و سه فاز تأمین می شود که با استفاده از رکتیفایرها و یا باتری ها (در مواقع اضطرار) به برق DC تبدیل می شود. متداولترین منابع DC ۱۱۰، ۲۲۰، ۴۴۰، ۵۵۰ و ۶۰۰ ولت و برای توان های پایین ۲۴ تا ۶۰ ولت می باشند.

#### ۳.۱. جریان متناوب AC و منبع برق سه فاز

جریان الکتریکی که جهت و قدرتش به طور متناوب و به صورت موج سینوسی بین مقادیر منفی تا مثبت تغییر می کند، به عنوان جریان متناوب شناخته می شود.

یک ولتاژ متناوب در یک سیم پیچ که در یک میدان مغناطیسی همگن می چرخد، القا می شود. هر چرخش کامل ۳۶۰ درجه ای سیم پیچ، یک سیکل کامل ولتاژ متناوب را القا می کند. ادامه این چرخش باعث تولید الکترومغناطیس جریان متناوب می شود.

برعکس جریان مستقیم، اندازه و جهت جریان AC به صورت دوره ای (سیکلی) می باشد.

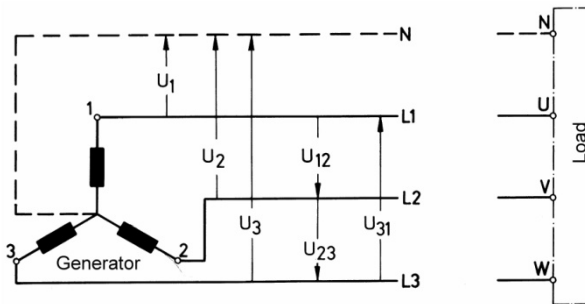
ساده ترین نوع منبع AC سیستم تک فاز است، اگرچه در عمل سیستم های چند فاز ارجح هستند. منبع استاندارد ۳ فاز می باشد.

سه فاز مهمترین نوع منبع انرژی الکتریکی صنعت تولید برق می باشد. منبع سه فاز توسط سه جریان تک فاز که نسبت به یکدیگر ۱۲۰ درجه در سیکل زمانی اختلاف دارند، تشکیل شده است. این سه فاز توسط سه هادی، یا چهار هادی (سه فاز و یک خط نول) جریان برق را انتقال می دهند. در کنار ولتاژ خط (ولتاژ دلتا) ولتاژ ستاره وجود دارد (بین خط و نقطه نول) که

به اندازه  $\sqrt{3}$  کمتر از ولتاژ خط است. نیروگاه های برق تقریباً همیشه برق سه فاز تولید می کنند. سیستم های روشنایی، موتورهای کوچک و ابزارآلات برقی، برق تک فاز که از بین یک خط سه فاز و نول گرفته شده است، استفاده می کنند.

سیستم های ولتاژ پایین سه فاز از سه خط اصلی  $L1$ ،  $L2$ ،  $L3$  و خط نول  $N$  تشکیل شده اند. نقطه نول به نقطه ستاره ژنراتور متصل شده است. تنها دو خط و یا یک خط تکی و نول یک سیستم جریان متناوب تک فاز را تشکیل می دهند.

ولتاژ بین خط ها ( $L1, L2, L3$ ) ولتاژ منبع  $U_L$  است؛ ولتاژ بین خط و نول ولتاژ ستاره  $U$  است.



شکل (۱): سیستم سه فاز

جریان های متناوب با فرکانس های (دور در ثانیه) مختلف تولید می شوند. فرکانس  $f$  واحد هرتز (Hz) دارد. سیستم برق شبکه اروپا با  $50$  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  $60$  هرتز نیز متداول است. در برخی کشورها هم فرکانس  $50$  و هم  $60$  هرتز مورد استفاده قرار می گیرد.

جدول ۱: فرکانس های شبکه خارج اروپا

| قاره                | فرکانس    | استثناها  |
|---------------------|-----------|---|
| افریقا              | $50$ هرتز | لیبی: $60$ هرتز   |
| امریکا              | $60$ هرتز | باربادوس، شیلی، جامائیکا، پاراگوئه، اروگوئه: $50$ هرتز<br>بولیوی، گویانا، هایتی: $50$ و $60$ هرتز |
| آسیا                | $50$ هرتز | کره، فیلیپین، عربستان سعودی، تایلند: $60$ هرتز<br>ژاپن: $50$ و $60$ هرتز                          |
| استرالیا و نیوزیلند | $50$ هرتز | -   |

منابع الکتریکی به سه رده تقسیم می شوند، ولتاژ خیلی پایین تا  $42$  ولت، ولتاژ پایین تا  $1000$  ولت و ولتاژ بالا که بیشتر از  $1000$  ولت است. ولتاژهای خیلی پایین در اسباب بازی ها (تا  $24$  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.

جدول ۲: منابع سه فاز ولتاژ پایین

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

جدول ۳: انتخاب ولتاژ بالا

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

## ۲. 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

### ۱.۲. موتورهای جریان مستقیم

موتورهای DC در انواع زیر وجود دارد:

- موتورهای سیم پیچی شنت
- موتورهای سیم پیچی سری
- موتورهای سیم پیچی ترکیبی
- موتورهای سیم پیچی شنت تحریک خارجی (مگنت ثابت)

برای چرخش پمپ های سانتریفیوژ با موتور DC، به صورت انحصاری، موتورهای سیم پیچی شنت مورد استفاده قرار می گیرد. در موتورهای سیم پیچی شنت DC، میدان (استاتور) و سیم پیچی آرمیچر (روتور) به صورت موازی به منبع برق اصلی متصل می شود.

در مقایسه با انواع دیگر موتورهای DC، سیم پیچی شنت به خاطر آنکه تقریباً دور موتور وابستگی به بار ندارد، مزیت نسبی دارد.

عموماً کاربرد پمپ های سانتریفیوژ با موتور سیم پیچی شنت DC به موارد خاص محدود می شود. مانند وسایل نقلیه، کشتی ها و تجهیزات اضطراری (مثلاً پمپ روغن رزرو). برق DC معمولاً از ژنراتورهای DC، رکتیفایرها و یا باتری ها (آکومولاتور) بدست می آید.

## ۲.۲. موتورهای جریان متناوب تک فاز

موتورهای القایی تک فاز برای توان های کم تا تقریباً ۵ 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.

## ۳.۲. 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

## ۱.۳.۲. 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.

قطعات الکتریکی موتور شامل استاتور و روتور می باشد. استاتور از ورقه های آهن با شیارهایی برای سیم پیچ های سه فاز ساخته شده است. روتور شیارهایی برای میله های مس یا آلومینیوم دارد. این میله در انتها بوسیله حلقه های اتصال کوتاه به هم متصل شده اند که تشکیل یک قفس می دهند. به خاطر همین به آن موتور قفس سنجابی گفته می شود. انتهای سیم پیچ های استاتور می تواند به صورت اتصال ستاره (Y) یا دلتا ( $\Delta$ ) و یا به راه انداز ستاره - مثلث متصل شود.

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.

$$n_{syn} = f/p \cdot 60 \text{ (rpm)}$$

که:

f: فرکانس تغذیه به هرتز

P: تعداد قطب های سیم پیچ استاتور

این میدان مغناطیسی ولتاژی را به هادی ها و روتور و همچنین جریانی را که مقدار آن وابسته به مقاومت مدار است، القا می کند. میدان دوار و جریان روتور شرط لازم برای تولید گشتاور می باشد. این بدین معنی است که روتور نمی تواند با سرعت چرخش میدان مغناطیسی بچرخد و همچنین تولید جریان روتور وابسته به هادی هایی است که خطوط نیروی میدان را قطع می کنند. بنابراین 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.

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

سرعت موتور (سرعت آسنکرون) برابر خواهد بود با:

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

جدول ۴: سرعت سنکرون  $n_{syn}$  به rpm در  $f=50, 60 \text{ Hz}$  برای تعداد قطب های مختلف

| 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 |

با افزایش بار موتور، جریان روتور بیشتری مورد نیاز است و لغزش افزایش و دور موتور کاهش می یابد. لغزش مورد نیاز در توان نامی وابسته به سایز موتور است و با افزایش سایز موتور کاهش می یابد. در بی باری، موتور تنها باید بر تلفات کم داخلی غلبه کند و گشتاور کمی نیاز دارد. بنابراین در بارهای سبک، سرعت موتور نزدیکتر به سرعت سنکرون است.

جدول ۵: لغزش  $S_N$  برای توان های نامی مختلف (مقادیر راهنما)

| توان نامی  | kW | ۱      | ۱۰     | ۱۰۰        | ۱۰۰۰       |
|------------|----|--------|--------|------------|------------|
| لغزش $S_N$ | %  | ۶ تا ۹ | ۳ تا ۴ | ۰.۷ تا ۱.۶ | ۰.۵ تا ۰.۸ |

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

سرعت و توان نامی واقعی از کاتالوگ سازنده قابل دستیابی می باشد.

برای حرکت موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون از سرعت  $n=0$  تا سرعت نامی  $n_N$  تحت یک بار مشخص، بزرگی گشتاور راه اندازی و شکل منحنی گشتاور / سرعت، فاکتورهای تعیین کننده ای می باشند. شکل منحنی اساساً بوسیله طراحی روتور و بویژه میله های هادی روتور تعیین می شود. تعداد زیاد تفاوت های ساخت و نامگذاری ها می تواند به سه نوع کاهش یابد: میله گرد، میله عمیق و روتورهای دو میله ای.

بسته به تعداد قطب ها و سایز فریم، موتورهای سه فاز با کلاس های روتور و منحنی های گشتاور مختلف وجود دارد. 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.

$M_A$ : گشتاور راه اندازی

$M_K$ : Pull out گشتاور پول آت

$M_L$ : گشتاور بار

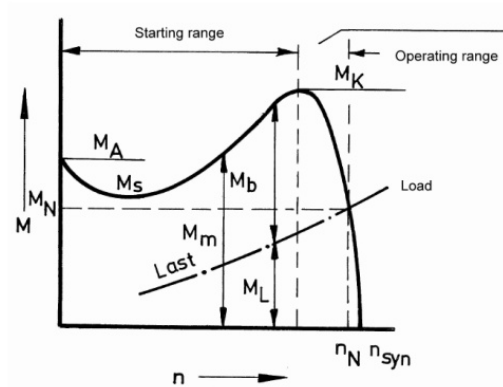
$M_m$ : گشتاور موتور

$M_N$ : گشتاور نامی

$M_s$ : Pull up گشتاور پول آپ

$n_N$ : سرعت نامی

$n_{syn}$ : سرعت سنکرون



شکل ۲: منحنی مشخصه گشتاور / سرعت موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون

### ۲.۳.۲. موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون با ساختمان ویژه

برای تعدادی از کاربردها، ساختمان های ویژه موتور و پمپ که به صورت یکپارچه می باشند، ساخته شده است:

- موتورهای مستغرق
- موتورهای محصور شده Canned
- موتورهای زیر آب

**پمپ مستغرق** از سیال اطراف خود به عنوان خنک کننده استفاده می کند. موتورها آببندی شده اند و با هوا یا روغن پر می شوند. این موتورها با ضرایب ایمنی کافی ساخته می شوند به طوری که حتی اگر به صورت کامل داخل آب قرار نگیرند، خنک کاری آن با مشکل مواجه نشود و قابل کار باشند. این موتورها به عنوان محرکه پمپ های مستغرق مانند پمپ های لجن کش، فاضلابی و پمپ های خنک کننده استفاده می شوند.

**پمپ های موتور محصور** روتور در تماس با سیال و استاتور خشک می باشد. یک کاور ضد سایش نازک سیم پیچ های استاتور را از سیال پمپ شونده آببندی می کند. موتور پمپ های محصور یک واحد پمپ بدون آببند را تشکیل می دهند که امکان نشت سیال به بیرون به صفر می رسد. موتور پمپ های محصور به عنوان پمپ های مواد شیمیایی و پمپ های سیرکوله آب گرم مورد استفاده قرار می گیرند.

**موتور های زیر آب** دارای روتور و استاتور در تماس با سیال می باشند. موتور کاملاً با مایع (آب یا روغن) پر می شود. این موتورها در پمپ های چاه عمیق مورد استفاده قرار می گیرند.



### ۳.۳.۲. موتورهای رینگ لغزان آسنکرون سه فاز

این موتورها در مواقع زیر به عنوان جایگزین موتورهای قفس سنجابی انتخاب می شوند:

- وقتی گشتاور راه اندازی بالا مورد نیاز است.
- وقتی جریان راه اندازی پایین مورد نیاز است.

با این مقدمه این موتورها در کاربردهای پمپ های سانتریفیوژ قرار ندارند و استفاده از موتورهای رینگ لغزان لازم نیست. موتورهای رینگ لغزان در بعضی مواقع در پمپ های سانتریفیوژ که ترکیبی از کنترل دور و توان خروجی بالا مورد نیاز است، استفاده می شود. استفاده از رکتیفایر های سری با موتور رینگ لغزان می تواند یک راه حل اقتصادی باشد.

روتور رینگ لغزان یک سیم پیچ سه فاز با تعداد جفت قطب های یکسان و ساختار مشابه استاتور، دارد. سیم پیچ ها از طریق رینگ های لغزان با مقاومت متفاوت به هم متصل می شوند. گشتاور راه اندازی و حرکتی می توان با تغییر مقاومت کل مدار روتور تنظیم شود. به خاطر ساختار رینگ لغزان، این موتورهای آسنکرون سادگی و قابلیت اطمینان خود را از دست می دهند. این موتورها گران تر از موتور قفس سنجابی است و جاروبک ها و رینگ لغزان نیاز به تعمیرات دارند.

### ۴.۳.۲. موتورهای سنکرون سه فاز

استفاده از موتورهای سنکرون برای پمپ های سانتریفیوژ نتیجه ای از بررسی هزینه ای، اصلاح ضریب قدرت و نوع کاربرد پمپ است. هزینه موتورهای سنکرون بین ۱۰ تا ۴۰ درصد بیشتر از موتور آسنکرون مشابه است. در ازای آن مزیت موتورهای سنکرون در امکان اصلاح ضریب قدرت موتور و راندمان بالاتر آن است. بنابراین در توان های بالاتر از ۸ تا ۱۰ مگاوات برای پمپ های سانتریفیوژ مزیت اقتصادی خواهد داشت.

ژنراتورهای سنکرون می توانند به عنوان موتور سنکرون استفاده شوند. این ماشین ها در تلمبه خانه های نیروگاه های برق به عنوان محرکه پمپ و ژنراتور مورد استفاده قرار می گیرند.

## ۳. ساختمان موتورهای الکتریکی

### ۱.۳. نوع ساختمان

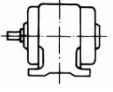
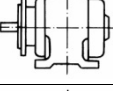
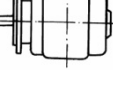
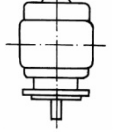
انواع ساختمان و نوع نصب موتورهای الکتریکی در استاندارد اروپایی (IEC 34-7, BS4999 pt 107) استانداردسازی شده است.

نامگذاری نوع نصب موتورها با دو سیستم کدگذاری می شود:

- کد ۱ : سیستم نامگذاری شمارگان برای موتورهای با یاتاقان های در دو انتها و یک انتها محور
- کد ۲ : یک کد عددی با محدوده کاربرد وسیع شامل کد ۱

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

جدول ۶: انواع ساختمان ماشین های الکتریکی

| ساختمان  | شکل  | کد ۲    | کد ۱   |
|--|--|---------|--------|
| <b>ماشین های با محور افقی</b>  |  |         |        |
| دو یاتاقان در دو انتها با پایه، نصب پایه دار   |  | IM 1001 | IM B3  |
| دو یاتاقان در دو انتها، محفظه با پایه، فلنج شده در سمت محرکه، نصب پایه دار به همراه نصب فلنج اضافی   |  | IM 2001 | IM B35 |
| دو یاتاقان در دو انتها، محفظه بدون پایه، فلنج شده در سمت محرکه، نصب فلنجی.<br>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. |  | IM 3001 | IM B5  |
| <b>ماشین های با محور عمودی</b>   |  |         |        |
| دو یاتاقان در دو انتها، فلنج شده در سمت محرکه، سطح فلنج رو به پایین است.<br>با این ساختمان یک کاور محافظتی توصیه می شود. برای موتورهای ضد انفجار این یک دستورالعمل است.  |  | IM 3011 | IM V1  |

### ۲.۳. کلاس حفاظتی تجهیزات الکتریکی

#### ۱.۲.۳. IP کد

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.

جدول ۷: رقم اول محافظت در برابر تماس و اجسام خارجی را تعریف می کند

| 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 عمودی 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 نزند، جمع نمی شود.<br>محافظت کامل در برابر تماس با قطعات دارای جریان برق یا در حال حرکت. |
| 6       | محافظت کامل در برابر گرد و خاک<br>محافظت کامل در برابر تماس  |

جدول ۸: رقم دوم محافظت در برابر آب را تعریف می کند.

| 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<br>پوسته موتور ممکن است تا ۱۵ درجه از وضعیت عادی خود بلند شود بدون آنکه اثر مضر داشته باشد. |
| 3       | محافظت در برابر ریزش آب در هر زاویه ای تا ۶۰ درجه بدون اثر مضر.<br>آب اسپری شده  |
| 4       | محافظت در برابر ریزش آب در هر زاویه ای بدون اثر مضر.<br>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.<br>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 محافظتی استاندارد برای موتورهای سه فاز IP 55 می باشد.

## ۲.۲.۳. کد IK

کد IK درجه حفاظت محفظه را در برابر ضربات مکانیکی خارجی مطابق با استاندارد EN 50102 توصیف می کند. کلاس حفاظت بوسیله یک کد عددی که با IK شروع می شود و دو رقم بعد از آن، نامگذاری می شود.

جدول ۹: درجه حفاظت در برابر ضربه مکانیکی

| انرژی ضربه | کد IK | انرژی ضربه | کد IK |
|------------|-------|------------|-------|
| 1 J        | 06    | 0.15 J     | 01    |
| 2 J        | 07    | 0.2 J      | 02    |
| 5 J        | 08    | 0.37 J     | 03    |
| 10 J       | 09    | 0.5 J      | 04    |
| 20 J       | 10    | 0.70 J     | 05    |

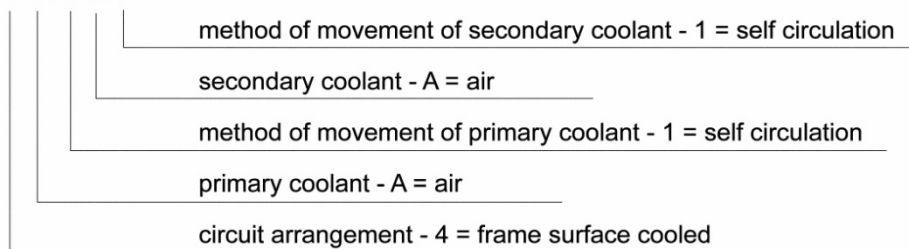
کلاس محافظتی استاندارد برای موتورهای سه فاز IK 08 می باشد.

## ۳.۳. روش خنک کاری

روش خنک کاری مطابق استاندارد (BS4999 pt 106), EN 60034-6, IEC 34-6 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.

مثال:

IC 4 A 1 A 1



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 فن دار برای موتور و یک فن که روی محور نصب شده است، می باشد.

## ۴.۳. عایق

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

جدول ۱۰: افزایش دما ( $\Delta T$ ) و دمای ماکزیمم در داغ ترین نقطه در سیم پیچی ( $T_{max}$ ) مطابق استاندارد IEC 34-1

| $T_{max}$<br>با دمای خنک کاری $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ برای هوا | $\Delta T$<br>اندازه گیری شده با روش مقاومتی | عایق   |
|---|--|--------|
| $125\text{ }^{\circ}\text{C}$                                       | 80 K   | کلاس B |
| $155\text{ }^{\circ}\text{C}$                                       | 105 K  | کلاس F |
| $180\text{ }^{\circ}\text{C}$                                       | 125 K  | کلاس H |

عموماً موتورهای سه فاز با کلاس عایقی F ساخته می شوند.

#### ۴. نصب و عملکرد موتورهای الکتریکی

##### ۱.۴. توان های نامی

##### ۱.۱.۴. توان

موتورهایی که از جداول انتخاب می شوند بر مبنای توان خروجی نشان داده می شوند. در واقع توان در دسترس روی محور خروجی موتور می باشد.

##### ۲.۱.۴. توان جذبی، بازده و ضریب قدرت

##### موتورهای آسنکرون سه فاز

توان جذبی توسط موتور الکتریکی محصولی از جریان الکتریکی کشیده شده از خط و ولتاژ آن می باشد. به خاطر اتلافات، این توان (توان الکتریکی) بیشتر از توان خروجی (توان مکانیکی) است. موتور ترکیبی از توان اکتیو و راکتیو مصرف می کند. این باعث جابجایی فاز بین ولتاژ و جریان می شود که جریان با زاویه  $\Phi$  نسبت به ولتاژ تأخیر فاز دارد. برای محاسبه توان مصرفی، تنها جریان اکتیو که در فاز ولتاژ قرار دارد، در نظر گرفته می شود. بنابراین توان فعال برابر است با:

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

جریان کشیده شده از معادله توان اکتیو برابر است با:

$$I = \frac{P_w \cdot 1000}{U \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}} \quad [Ampere (A)]$$

راندمان موتور  $\eta$  نسبت توان خروجی  $P_M$  (توان مکانیکی در محور) به توان جذبی  $P_w$  (توان فعال) می باشد.

$$\eta = \frac{P_M}{P_w} \cdot 100 \quad [\%]$$

بنابراین توان خروجی در محور برابر است با:

$$P_M = \frac{I \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \sqrt{3} \cdot \eta}{1000 \cdot 100} \quad [kW]$$

جریان کشیده شده از معادله فوق برابر است با:

$$I = \frac{P_M \cdot 1000 \cdot 100}{\cos \varphi \cdot \eta \cdot U \cdot \sqrt{3}} \quad [Ampere (A)]$$

ولتاژ خط و جریان اندازه گیری شده تشکیل توان ظاهری  $P_s$  را می دهند که شکل ریاضی ضعیفی دارد.

$$P_s = \frac{I \cdot U \cdot \sqrt{3}}{1000} \quad [kVA]$$

برای تشکیل میدان مغناطیسی (مغناطیس کردن موتور)، توانی مورد نیاز است که به انرژی مکانیکی تبدیل نمی شود. تنها یک تبادل همیشگی بین سیم پیچی میدان و منبع اصلی برق وجود دارد. برای همین به آن توان راکتیو  $P_b$  گفته می شود. این توان از تفاضل توان اکتیو و ظاهری بدست می آید.

$$P_b = P_s^2 - P_M^2 = \frac{I \cdot U \cdot \sin\phi \cdot \sqrt{3}}{1000} \quad [\text{Kilovoltampere reactive (kvar)}]$$

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.

به طور کلی می توان گفت بازده و ضریب قدرت:

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

این موضوع وقتی که موتور انتخاب می شود باید در نظر گرفته شود. اگر یک ضریب ایمنی بسیار بالا برای انتخاب توان الکتروموتور یک پمپ انتخاب شود، موتور به طور پیوسته در بار جزئی کار می کند و در نتیجه با راندمان و ضریب قدرت پایین عمل می کند.

مقادیر نشان داده شده در جداول زیر برای بازده و ضریب قدرت صرفاً برای راهنمایی است و ممکن است از سازنده ای به سازنده دیگر متفاوت باشد.

توان خروجی موتور می تواند با استفاده از این مقادیر و جریان کشیده شده و ولتاژ تخمین زده شود. اندازه گیری جریان کشیده شده حین عملکرد پمپ صرفاً به خاطر بررسی این موضوع است که آیا موتور در شرایط طراحی خود عمل می کند یا نه. اگر بدلیل فاکتورهای ناخواسته مانند تغییر در شرایط عملکرد یا سایب در پمپ، افزایش توان جذبی پمپ از حد طراحی افزایش یابد، اندازه گیری جریان کشیده شده بسیار مهم است. این اندازه گیری اجازه می دهد که از خرابی موتور اجتناب شود.

جدول ۱۱: ضریب قدرت  $\cos\phi$  برای توان های نامی مختلف (مقادیر راهنما)

| 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 |

مقادیر کمتر برای موتورهای الکتریکی ۴ قطبی و مقادیر بیشتر برای موتورهای الکتریکی ۲ قطبی می باشد.

جدول ۱۲: تغییر ضریب قدرت  $\cos\Phi$  در بارهای جزئی

| ½<br>بار کامل | ¾    | 4/4         | 5/4  | ½<br>بار کامل | ¾    | 4/4         | 5/4  |
|---------------|------|-------------|------|---------------|------|-------------|------|
| 0.86          | 0.90 | <b>0.92</b> | 0.92 | 0.69          | 0.79 | <b>0.83</b> | 0.84 |
| 0.85          | 0.89 | <b>0.91</b> | 0.91 | 0.67          | 0.77 | <b>0.82</b> | 0.83 |
| 0.83          | 0.88 | <b>0.90</b> | 0.90 | 0.66          | 0.76 | <b>0.81</b> | 0.82 |
| 0.80          | 0.86 | <b>0.89</b> | 0.89 | 0.65          | 0.75 | <b>0.80</b> | 0.81 |
| 0.78          | 0.85 | <b>0.88</b> | 0.88 | 0.63          | 0.74 | <b>0.79</b> | 0.80 |
| 0.76          | 0.84 | <b>0.87</b> | 0.87 | 0.61          | 0.72 | <b>0.78</b> | 0.80 |
| 0.75          | 0.83 | <b>0.86</b> | 0.86 | 0.59          | 0.71 | <b>0.77</b> | 0.79 |
| 0.73          | 0.81 | <b>0.85</b> | 0.86 | 0.58          | 0.70 | <b>0.76</b> | 0.78 |
| 0.71          | 0.80 | <b>0.84</b> | 0.85 | 0.56          | 0.69 | <b>0.75</b> | 0.78 |

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 ترانس های زیر به کار می رود:  $\frac{1-\cos\varphi}{6}$

در محدوده حداقل 0.02 و حداکثر 0.07

جدول ۱۳: بازده  $\eta_N$  به % برای توان های نامی مختلف (مقادیر راهنما)

| 1000     | 110      | 11                   | 1.1                  | توان نامی kW<br>۲ قطب و ۴ قطب |
|----------|----------|----------------------|----------------------|-------------------------------|
| eff 2 97 | eff 3 95 | eff 2 89<br>eff 1 91 | eff 2 77<br>eff 1 84 | راندمان $\eta_N$ به %         |

eff: بازده استاندارد

eff 2: بازده بهبود داده شده

eff 1: بازده بالا

جدول ۱۴: تغییر بازده  $\eta_N$  به % در بارهای جزئی

| ½<br>بار کامل | ¾  | 4/4       | 5/4  | ½<br>بار کامل | ¾    | 4/4       | 5/4  |
|---------------|----|-----------|------|---------------|------|-----------|------|
| 96            | 97 | <b>97</b> | 96.5 | 81            | 82   | <b>82</b> | 80.5 |
| 95            | 96 | <b>96</b> | 95.5 | 80            | 81   | <b>81</b> | 79.5 |
| 93.5          | 95 | <b>95</b> | 94.5 | 79            | 80   | <b>80</b> | 78.5 |
| 92.5          | 94 | <b>94</b> | 93.5 | 77            | 79.5 | <b>79</b> | 77.5 |
| 91.5          | 93 | <b>93</b> | 92.5 | 75.5          | 78.5 | <b>78</b> | 76.5 |
| 91            | 92 | <b>92</b> | 91.5 | 74            | 77.5 | <b>77</b> | 75   |
| 90            | 91 | <b>91</b> | 90   | 73            | 76   | <b>76</b> | 74   |
| 89            | 90 | <b>90</b> | 89   | 72            | 75   | <b>75</b> | 73   |
| 88            | 89 | <b>89</b> | 88   | 71            | 74   | <b>74</b> | 72   |
| 87            | 88 | <b>88</b> | 87   | 70            | 73   | <b>73</b> | 71   |
| 86            | 87 | <b>87</b> | 86   | 68            | 72   | <b>72</b> | 70   |
| 85            | 86 | <b>86</b> | 85   | 67            | 71   | <b>71</b> | 69   |
| 84            | 85 | <b>85</b> | 83.5 | 66            | 70   | <b>70</b> | 68   |
| 83            | 84 | <b>84</b> | 82.5 | 65            | 69   | <b>69</b> | 67   |
| 82            | 83 | <b>83</b> | 81.5 | 64            | 67.5 | <b>68</b> | 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 تلرانس 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  $\eta$  به صورت اعشاری می باشد.

#### ۲.۴ الزامات نصب

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 زیر اصلاح شود.

جدول ۱۵: ضرایب تصحیح برای ارتفاع از سطح دریا (AH) و دمای محیط (KT)

| 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                    |

برای شرایط بسیار بد آب و هوایی، مثلاً وقتی که دمای محیط کمتر از  $40^{\circ}\text{C}$  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.

#### ۳.۴ اثر تغییر در ولتاژ و فرکانس شبکه بر عملکرد موتورهای القایی آسنکرون سه فاز

##### ۱.۳.۴ تغییر در ولتاژ شبکه با فرکانس ثابت

گشتاور راه اندازی و گشتاور پول اوت Pull out (نقطه ماکزیمم گشتاور در منحنی گشتاور / سرعت)، با توان دوم ولتاژ تغییر می کند و جریان راه اندازی تقریباً متناسب با ولتاژ تغییر می کند.



مطابق استاندارد EN 60034-1 تفرانس ولتاژ  $\pm 5\%$  (محدوده A) مجاز است. استاندارد IEC 38 تفرانس  $\pm 10\%$  برای ولتاژهای شبکه ۲۳۰، ۴۰۰ و ۶۹۰ ولت را مجاز می‌داند.

به علاوه تفرانس  $\pm 5\%$  مطابق استاندارد EN 60034 می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد اگر افزایش دمای مجاز، مطابق کلاس دمایی، اجازه افزایش ۱۰ درجه سانتیگراد اضافه تر را داشته باشد.

تغییرات در مقادیر نامی در جدول ۱۶ داده شده است.

جدول ۱۶: اثر تغییرات در ولتاژ و فرکانس در مقادیر نامی

| مقدار نامی                 | ۱۱۰٪ ولتاژ نامی      | ۹۰٪ ولتاژ نامی     | ۱۰۵٪ فرکانس نامی | ۹۵٪ فرکانس نامی |
|----------------------------|----------------------|--------------------|------------------|-----------------|
| گشتاور راه اندازی و پول آت | ۲۱٪ افزایش           | ۱۹٪ کاهش           | ۱۰٪ کاهش         | ۱۱٪ افزایش      |
| سرعت سنکرون                | بدون تغییر           | بدون تغییر         | ۵٪ افزایش        | ۵٪ کاهش         |
| سرعت بار کامل              | ۱٪ افزایش            | ۱.۵٪ کاهش          | ۵٪ افزایش        | ۵٪ کاهش         |
| بازده بار کامل             | ۰.۵ تا ۱ واحد افزایش | ۲ واحد کاهش        | کمی افزایش       | کمی کاهش        |
| ضریب قدرت در بار کامل      | ۳ واحد کاهش          | ۱ واحد افزایش      | کمی افزایش       | کمی کاهش        |
| جریان راه اندازی           | ۱۰٪ تا ۱۲٪ افزایش    | ۱۰٪ تا ۱۲٪ کاهش    | ۵٪ تا ۶٪ کاهش    | ۵٪ تا ۶٪ افزایش |
| جریان بار کامل             | ۷٪ کاهش              | ۱۱٪ افزایش         | کمی کاهش         | کمی افزایش      |
| دما                        | ۳ تا ۴ درجه کاهش     | ۶ تا ۷ درجه افزایش | کمی کاهش         | کمی افزایش      |

تمامی مقادیر صرفاً جهت راهنمایی می‌باشد. مقادیر دقیق از سازنده بدست می‌آید.

#### ۲.۳.۴. تغییر در فرکانس شبکه با ولتاژ ثابت

مقادیر گشتاور راه اندازی و پول آت به طور معکوس با توان دوم فرکانس کاهش می‌یابد و سرعت نامی تقریباً متناسب با فرکانس است. عموماً تغییرات  $\pm 5\%$  فرکانس مجاز است. تغییرات در مقادیر نامی در جدول ۱۶ نشان داده شده است.

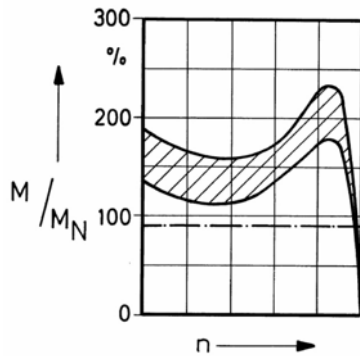
استفاده از موتورهای برای تغییرات فرکانس بیشتر باید محدود شود. در حالتی که یک موتور با فرکانس ۵۰ هرتز بدون تغییر ولتاژ به فرکانس ۶۰ هرتز متصل شود، گشتاور راه اندازی و گشتاور پول آت تقریباً ۷۰ درصد کاهش می‌یابد. اگر یک موتور ۶۰ هرتز به فرکانس شبکه ۵۰ هرتز متصل شود، به خاطر تشکیل مجدد شرایط مغناطیسی اصلی، توان خروجی باید به طور قابل ملاحظه ای کاهش یابد. در غیر اینصورت باعث خرابی عایق سیم پیچ به خاطر افزایش دما می‌شود.

#### ۳.۳.۴. تغییرات هم زمان در ولتاژ شبکه و فرکانس

اگر ولتاژ و فرکانس همزمان با یک نرخ مشابه تغییر کنند، مثلاً از 400 V, 50 Hz به 460 V, 60 Hz. با صرف نظر از اثر مقاومتی، شرایط مغناطیسی تغییر نمی‌کند. موتور گشتاور عادی با تقریباً همان جریان های روتور و استاتور تولید می‌کند.

سرعت نامی و توان به طور مستقیم با فرکانس تغییر می‌کند. این موضوع برای تقریباً  $\pm 20\%$  فرکانس نامی صادق است. اگرچه در این شرایط نیز افزایش توان خروجی ممکن است باعث ایجاد گرمای زیاد در موتور شود که باید با سازنده مشورت شود.

#### ۴.۴. کلاش گشتاور (کلاس روتور) موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون سه فاز



شکل (۳): مثالی از منحنی مشخصه گشتاور

موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون سه فاز مشخصه های گشتاور مختلفی دارند که وابسته به شکل سطح مقطع میله های قفس روتور (همانطور که در بخش ۱.۳.۲ توضیح داده شد) است. شکل سطح مقطع خودش گشتاور راه اندازی موتور را تعریف نمی کند. در واقع اطلاعات سازنده کلاس روتور را تعریف خواهد کرد. شکل زیر محدوده عملکرد برای یک موتور با کلاس روتور داده شده را نشان می دهد، که می تواند به طور قابل اطمینان به صورت مستقیم D.O.L در مقابل یک بار تا ۹۰٪ گشتاور نامی (خط شکسته) استارت شود.

از آنجا که گشتاور پمپ های سانتریفیوژ با مربع سرعت افزایش می یابد ( $M^2 \sim n^2$ ) و گشتاور ترمزی عموماً ۵ تا ۱۰٪ گشتاور نامی است، کلاس روتور عموماً برای محرکه های پمپ سانتریفیوژ اهمیت ندارد.

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

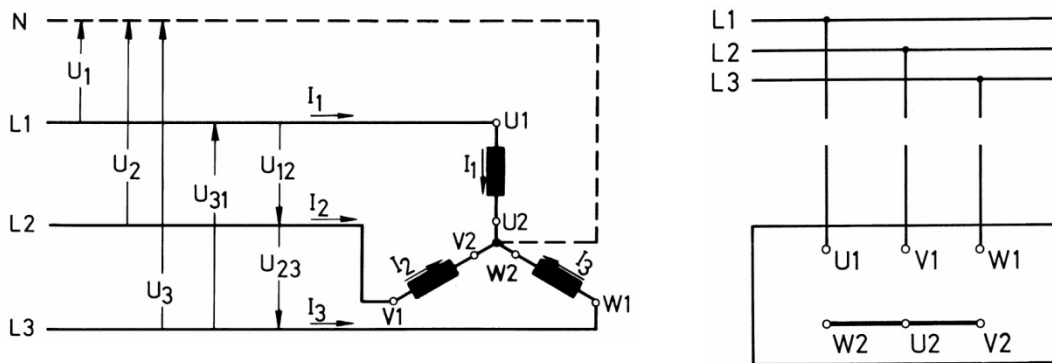
موتورهای سه فاز به هادی های سه فاز L1, L2 و L3 متصل شده اند. عموماً سیم پیچ ها به یکی از دو روش ستاره یا مثلث به هم متصل می شوند.

##### ۱.۵.۴. 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.

اگر سه فاز به طور برابر تحت بار باشند (بارگذاری متقارن)، مجموع جریان ها در سیم پیچ ها در هر لحظه صفر است.

##### اتصال ستاره Y

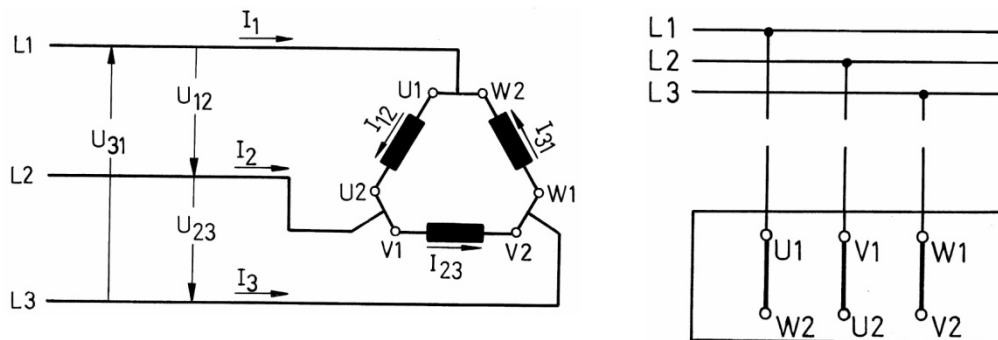


شکل (۴): اتصال ستاره Y

۲.۵.۴. اتصال مثلث  $\Delta$ 

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.

اگر سه فاز به طور یکسان بارگذاری شده باشد (بارگذاری متقارن)، مجموع جریان های مرتبط در سیم پیچ ها در هر لحظه صفر است.

اتصال مثلث  $\Delta$ 

شکل (۵): اتصال مثلث

روش راه اندازی موتور بر روش اتصال وقتی موتور در حال کار است، تأثیرگذار می باشد. جدول زیر اتصالات ممکن برای موتورهای قفس سنجایی در ارتباط با سیم پیچی و ولتاژ شبکه را نشان می دهد.

برای راه اندازی ستاره - مثلث، اتصال در حال کار باید مثلث باشد.

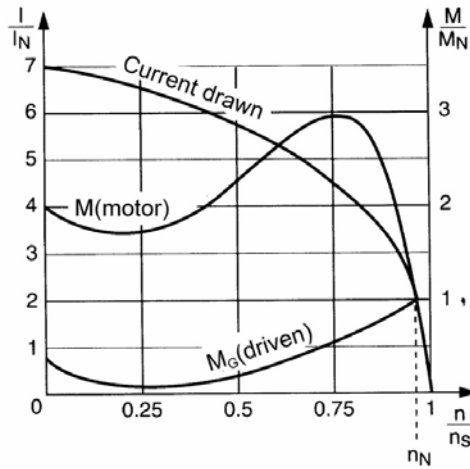
جدول ۱۷: اتصال در حال کار موتورهای قفس سنجایی سه فاز

| ولتاژ سیم پیچ         | ولتاژ کاری در ۵۰ هرتز | برای راه اندازی مستقیم یا روتور رینگ لغزان | برای راه اندازی ستاره - مثلث |
|-----------------------|-----------------------|--|------------------------------|
| 230 $\Delta$ / 400 Y  | 230<br>400            | 230 $\Delta$<br>400 Y                      | 230 $\Delta$<br>-            |
| 400 Y<br>400 $\Delta$ | 400                   | 400 Y<br>400 $\Delta$                      | -<br>400 $\Delta$            |
| 400 $\Delta$ / 690 Y  | 400<br>690            | 400 $\Delta$<br>690 Y                      | 400 $\Delta$<br>-            |

جهت چرخش موتور مشابه میدان مغناطیسی است. اگر جهت چرخش معکوس برای میدان مغناطیسی و به تبع آن جهت چرخش موتور مورد نیاز باشد، کافی است که اتصالات دو فاز در جعبه ترمینال موتور را عوض کنید.

## ۶.۴. راه اندازی موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون سه فاز

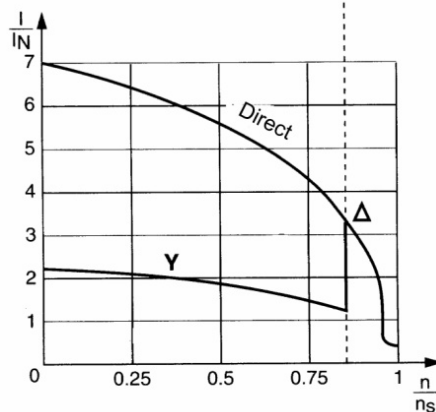
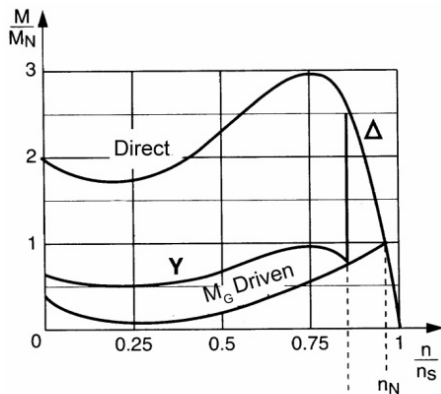
## ۱.۶.۴. راه اندازی مستقیم D.O.L



شکل (۶): منحنی مشخصه نمونه ای 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.

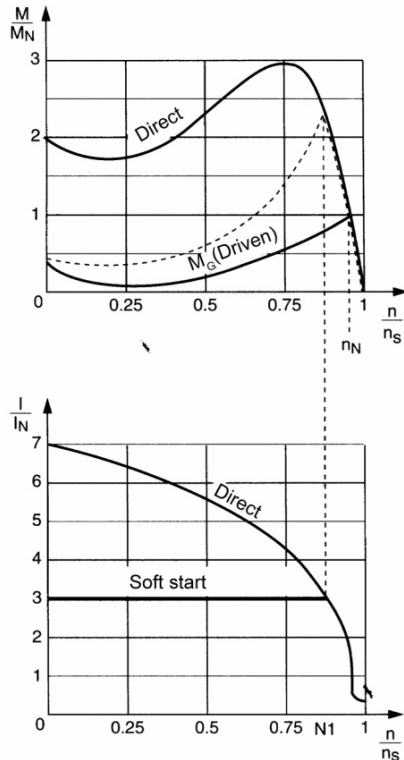
۲.۶.۴. راه اندازی ستاره - مثلث  $\Delta Y$ 

شکل (۷): مثالی از منحنی مشخصه راه اندازی ستاره - مثلث

اگر لازم باشد تا جریان راه اندازی به خاطر محدودیت های شبکه، کاهش یابد، روش راه اندازی ستاره - مثلث  $\Delta Y$  می تواند یک امکان باشد. برای کاهش جریان راه اندازی موتورهای توان بالا ممکن است این موتورها با مقاومت های سری یا اوتو ترانسفورمر راه اندازی شوند. البته این روش تا اندازه ای گران می باشد و خیلی کاربرد ندارد.

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.

## ۳.۶.۴. راه اندازی نرم



شکل (۸): مثالی از منحنی مشخصه برای 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.

## ۴.۶.۴. راه اندازی موتورهای ولتاژ بالا

در صورت اجازه مسئولین برق شبکه، اقتصادی ترین روش برای راه اندازی موتورهای قفس سنجابی، راه اندازی مستقیم می

باشد. برای موتورهای با توان بالا که از محدوده فراتر می روند، می بایست امتحان شود که راه اندازی با مبدل فرکانسی ولتاژ بالا امکان پذیر است یا نه. همچنین با کنترل دور، امکان کنترل جریان راه اندازی به مقدار نامی وجود دارد.

## ۷.۴. انواع کارکرد Types of duty

نوع کارکرد یک موتور بر رفتار دمایی و در نتیجه ظرفیت بار آن تأثیر می گذارد. بنابراین تأثیر بر انتخاب و طراحی یک ماشین مناسب دارد. نوع کارکرد باید به دقت در زمان خرید توصیف شود. برای ساده سازی و اطمینان از فهم بهتر بین خریدار و تأمین کننده، بسیاری از انواع کارکرد در ۱۰ سرفصل (S1 تا S10) مطابق استاندارد EN 60034-1 تعریف شده است.

عموماً برای پمپ های سانتریفیوژ تنها سرفصل کارکرد دائم (S1) مورد توجه قرار می گیرد. عملکرد نامی داده شده در دیتاشیت های سازنده برای کارکرد دائم می باشد.

کارکرد دائم به صورت مدت زمان کافی کارکرد در بار ثابت که دمای تعادلی بدست می آید، تعریف می شود. برای این نوع کارکرد، انتخاب موتور (توان موتور) را می توان مطابق توان مورد نیاز پمپ و در نظر گرفتن هرگونه ضرایب ایمنی مورد نیاز برطبق استانداردها یا تجربه، بدست آورد.

نوع کارکرد روی پلاک با عبارت کارکرد دائم (Continuous running duty) یا اصطلاح S1 نشان داده می شود. اگر پلاک علامتگذاری نشده باشد، می توان تصور نمود که موتور با کارکرد دائم می باشد.

## ۸.۴. 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.

برای موتورهای چند قطبی با دو سیم پیچ جداگانه، دو برابر تعداد ترمیستورها مورد نیاز است.

فیوزها و قطع کن ها وسایل محافظتی موتور نیستند ولی تجهیزات شبکه را از جریان های اتصال کوتاه بالا محافظت می کنند.

## ۵. محافظت انفجاری Explosion Protection

### ۱.۵. کلیات

در صنایع فرآیندی، بویژه صنایع شیمیایی و پالایشگاهی، گازها، بخارات و رطوبت وجود دارد که وقتی با اکسیژن هوا مخلوط می شوند، ممکن است تشکیل یک مخلوط انفجاری بدهند. تحت شرایط ویژه ممکن است این مخلوط جرقه یا منفجر می شود. ترکیب و غلظت این مخلوط (راحتی جرقه خوردن) و انرژی منبع جرقه (مانند جرقه الکتریکی یا دمای زیاد یک موتور) تأثیر زیادی بر این موضوع دارد. نتیجه این انفجار، غالباً خرابی دستگاه و تغییر شکل آن و ممکن است حتی مرگ نفرات باشد. به همین دلیل اندازه گیری محافظت انفجاری نیازمند مراجع قانونی است.

بر طبق تعریف، مناطق انفجاری / خطرناک مناطقی هستند که در شرایط عادی عملکرد، مخلوط انفجاری از گازها، بخارات و رطوبت می تواند در مقادیر خطرناکی تشکیل شود. این تعریف هم در محیط های سرپوشیده و هم باز کاربرد دارد.

محافظت انفجاری، شامل محدوده بسیار وسیعی از کاربردها و آیین نامه هایی است که محافظت تجهیزات الکتریکی را در بر می گیرد.

آیین نامه ها و مقررات زیر تنها اهم آن می باشد، در هر شرایط تمامی مقررات مربوطه باید در نظر گرفته شود.

استانداردهای اروپایی EN 50 014 تا EN 50 020 و EN 50 029 الزامات ساخت و تست انواع مختلف حفاظت ها را تعریف می کند.

استاندارد EN 50 014: الزامات عمومی برای ساخت و تست تجهیزات الکتریکی برای استفاده در مناطق خطرناک

مناطق که در معرض خطر مواد انفجاری هستند به عنوان مناطق خطرناک طبقه بندی نمی شوند، اما اگر یک منطقه خطرناک شامل مواد انفجاری باشد، آیین نامه ها و مقررات فوق باید در نظر گرفته شود.

استاندارد DIN VDE 0166: الزامات ساخت و تست تجهیزات الکتریکی در مناطق شامل مواد انفجاری

برای خطر گاز متان در معادن آیین نامه های دیگری باید در نظر گرفته شود.

استاندارد DIN VDE 0118: الزامات نصب تجهیزات الکتریکی در معادن زیرزمینی

بر طبق الزامات قانونی نصب تجهیزات الکتریکی در مناطق در معرض خطر انفجار (Elex V) تنها اگر دستگاه شرایط زیر را داشته باشد، ممکن است در مناطق انفجاری نصب شود:

- دستگاه باید برای گازها و بخاراتی که وجود دارد تأیید شده باشد.

• دستگاه باید توسط سازنده تست های لازم را گذرانده باشد تا این اطمینان بدست آید که بر طبق تأییدیه نوع Type Approval است.

• دستگاه باید علامتگذاری با اطلاعات مناسب بوسیله یک مرجع قانونی داشته باشد.

تأییدیه نوع Type Approval توسط مراجع محلی تحت نظارت مراجع قانونی داده می شود.

به منظور طبقه بندی الزامات حفاظت انفجاری یک پمپ خاص (مثلاً یک پمپ موتور محصور)، کافی نیست که فقط اطلاعات پمپ و سیال پمپ شونده مورد نظر قرار گیرد. منابع دیگر خطر ممکن است در همان منطقه وجود داشته باشد که باید در نظر گرفت. مثلاً اگر یک پمپ در یک منطقه که اتیل اتر (کلاس دمایی T4) وجود دارد، استون (با کلاس دمایی T1) پمپاژ کند.

تصمیم در خصوص یک محل خاص، صرفنظر از محیط سرپوشیده یا باز، که از منظر مقررات باید خطرناک باشد یا نه، باید توسط مصرف کننده مشخص شود. در حالتی که شک و شبهه وجود دارد، باید توسط یک مسئول قانونی مناسب (مثلاً هیئت بازرسان کارخانه) این موضوع تصمیم گیری شود.

### ۲.۵. نامگذاری نواحی مناطق خطرناک

مناطق خطرناک مطابق با احتمال خطر، مدت و استمرار وجود اتمسفر انفجاری به نواحی مختلفی تقسیم بندی می شود.

**ناحیه صفر (Zone 0):** شامل مناطقی است که اتمسفر انفجاری به طور پیوسته یا برای مدت طولانی وجود دارد (مثلاً داخل تانک شامل مایعات یا گازهای انفجاری).

در ناحیه صفر، تنها تجهیزاتی که به طور ویژه برای این کاربرد طراحی شده باشد، استفاده می شود. موتورهای الکتریکی با هر کلاس محافظتی، اجازه کارکرد در این ناحیه را ندارند.

**ناحیه ۱ (Zone 1):** شامل مناطقی است که گهگاه اتمسفر انفجاری بوجود می آید.

موتورهای الکتریکی که در این ناحیه مورد استفاده قرار می گیرند باید در برابر انفجار محافظت شده باشند و باید حداقل یکی از علائم استاندارد ضد انفجار "d" یا ایمنی افزایش یافته "e" را داشته باشند.

**ناحیه ۲ (Zone 2):** شامل مناطقی است که گهگاه اتمسفر انفجاری به مدت کوتاه بوجود می آید.

موتورهای ضد انفجار با حفاظت d و ایمنی افزایش یافته e ممکن است استفاده شود. همچنین در بسیاری از موارد موتورهای القایی قفس سنجابی سه فاز استاندارد ممکن است استفاده شود.

### ۳.۵. گروه های گازی

گازها و مایعات انفجاری بوسیله حداقل فاصله و یا حداقل جریان جرقه ای که ممکن است تحت شرایط عملی تعریف شده انفجار گسترش یابد، به گروه هایی طبقه بندی می شود.

جدول ۱۸: مثال طبقه بندی گروه انفجاری گازها و بخارات

| گروه                                 | گاز یا بخار قابل انفجار   |
|--------------------------------------|---|
| II A                                 | آستون، آمونیاک، بنزن، بنزول، بوتان، گازوئیل، نفت سفید، اسید استیک، بنزین، هگزان، متانول، پروپان، تولوئن |
| II B                                 | اتانول، اتیلن اکساید، اتیل اتر، گاز شهری  |
| II B + H <sub>2</sub>                | همانند II B + هیدروژن   |
| II B + CS <sub>2</sub>               | همانند II B + دی سولفید کربن  |
| II B + C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | همانند II B + هیدروژن سولفید  |
| II C                                 | استیلن  |

#### ۴.۵. کلاس دمایی

محیط انفجاری می تواند به سادگی بوسیله گرمای ایجاد شده در شرایط عادی تجهیزات الکتریکی، مشتعل شود. برای جلوگیری از آن، دمای سطح دستگاه باید از دمای احتراق محیط انفجاری کمتر نگه داشته شود. دمای احتراق اتمسفر انفجاری کمترین دمای سطحی است که منجر به احتراق مخلوط در تماس با آن می گردد.

دمای احتراق مایعات و بخارات مطابق استاندارد EN 50 014 / DIN 51 794 تعریف می شود و به کلاس های دمای T1 تا T6 طبقه بندی می شود.

ماکزیمم دمای سطح، بالاترین دمایی است که ممکن است حین کارکرد تحت محتملترین شرایط نامساعد هر قطعه یا سطوح تجهیزات بدست آید به طوری که توانایی ایجاد احتراق در تماس با اتمسفر انفجاری را داشته باشد. محتملترین شرایط نامساعد همچنین شامل شرایط اضافه بار یا خرابی می باشد. برای کاربردهای پمپ، این دما نه تنها مربوط به سطح موتور الکتریکی می باشد، بلکه شامل خود پمپ نیز می شود.

معیار ایمنی مربوط به گازها و بخارات قابل انفجار مثلاً نقطه احتراق، دمای جرقه، کلاس دمایی و کلاس انفجاری، تماماً تعریف شده اند و در قوانین و آیین نامه های قانونی کشورها توضیح داده شده اند.

جدول ۱۹: طبقه بندی دمایی

| کلاس دمایی | ماکزیمم دمای سطح مجاز °C | دمای جرقه ماده قابل انفجار °C       |
|------------|--------------------------|-------------------------------------|
| T1         | 450                      | بیشتر از ۴۵۰ درجه                   |
| T2         | 300                      | بیشتر از ۳۰۰ درجه، کمتر از ۴۵۰ درجه |
| T3         | 200                      | بیشتر از ۲۰۰ درجه، کمتر از ۳۰۰ درجه |
| T4         | 135                      | بیشتر از ۱۳۵ درجه، کمتر از ۲۰۰ درجه |
| T5         | 100                      | بیشتر از ۱۰۰ درجه، کمتر از ۱۳۵ درجه |
| T6         | 85                       | بیشتر از ۸۵ درجه، کمتر از ۱۰۰ درجه  |

#### ۵.۵. مقایسه استانداردها

استانداردهای اروپایی EN 50 014 تا EN 50 020 که از ماه می سال ۱۹۷۸ اجرایی شده اند، قابل مقایسه است با استاندارد آلمانی قبلی DIN VDE 0170 / 0171 که برای محصولات تولید شده تا تاریخ 1.5.1988 که هنوز هم در حال کار هستند، قابل استفاده است.



جدول ۲۰: نامگذاری محافظت انفجاری مطابق استاندارد EN 50 014 / 50 020

| EN 50 014 / 50 020            |                                  |   | DIN VDE 0170/0171         |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|---|---------------------------|----------------------------------|
| Explosion protection Group II |                                  |   | Explosion protection (Ex) |                                  |
| Type of protection            | Explosion proof Increased safety | d e   | Type of protection        | d e                              |
| Temperature class             |                                  | T1<br>T2<br>T3<br>T4<br>T5<br>T6  | Ignition group            | G1<br>G2<br>G3<br>G4<br>G5<br>-- |
| Explosion group               |                                  | II A<br>II B<br>II B + H <sub>2</sub><br>II B + CS <sub>2</sub><br>II B + C <sub>2</sub> H <sub>2</sub><br>II C | Explosion class           | 1<br>2<br>3a<br>3b<br>3c<br>3n   |
| Example of designation        | EEx e II T3<br>EEx de IIC T4     |   | (Ex) e G3<br>(Ex) d 3n G4 |                                  |

**مثال: EEx de IIC T4**

E: موتور مطابق با استاندارد اروپایی

EX: محافظت انفجاری

de: ترکیبی از ضد انفجار و ایمنی افزایش یافته

II: گروه تجهیزات الکتریکی برای مکان های با اتمسفر قابل انفجار، به غیر از معادن و گاز معدن (متان)

C: بالاترین کلاس عملی برای نوع حفاظت Ex d. این کلاس برای تمامی گازها و بخارات مناسب است.

T4: کلاس دمایی (ماکزیمم دمای سطح °C ۱۳۵)

**۶.۵. حفاظت انفجاری در موتور پمپ های محصور**

برای موتور پمپ های محصور، مسئولین نیازمند اندازه گیری های ایمنی بیشتری نسبت به آیین نامه های موتور های ضد انفجار معمولی دارند.

در گواهینامه تحت عنوان "شرایط ویژه"، شرایط اضافه برای عملکرد این پمپ ها در مناطق خطرناک وضع می شود.

نکات زیر شامل این پمپ ها می شود:

- به دلیل ایمنی، پوسته روتور باید همیشه با سیال پمپ شونده پر شود. بنابراین لازم است که بخشی با یک نشانگر سطح و یا هر راهکار مطمئن دیگری که باعث شود موتور تنها بتواند با مقدار سطح کافی از مایع استارت شود، تعبیه گردد.

- برای جلوگیری از ایجاد دماهای غیر قابل قبول در سیستم خنک کاری / روانکاری، سنسورهای دما باید تعبیه گردد. این سنسورها باید این اطمینان را ایجاد کنند که تحت شرایط کاری پمپ، ماکزیمم دما از حد مجاز در کلاس انفجاری فراتر نرود.

#### ۷.۵. حفاظت انفجاری در استانداردهای اروپایی

راهنمای 94/9/EC که توسط اتحادیه اروپا EC نوشته شده است، هماهنگی آیین نامه های رسمی اعضا برای تجهیزات و سیستم های حفاظتی برای عملکرد در مناطق خطرناک انفجاری را پوشش می دهد.

این راهنما همچنین به عنوان ATEX 100a شناخته شده است که از ۲۳ می سال ۱۹۹۹ با یک دوره آزمایشی تا ۳۰ ژوئن ۲۰۰۳ اجرایی شده است.

این گام موثری برای همسان سازی استانداردهای ایمنی در اتحادیه اروپا EC می باشد.

واضحترین نشانه این استاندارد، علامت CE است که تجهیزات محافظت شده انفجاری نیز باید آن را داشته باشند تا بتوانند در همه جای اتحادیه اروپا مورد استفاده قرار گیرند.

عبارت حفاظت انفجاری به خاطر اهمیتش بسیار وسعت یافته است. سازندگان باید از مناسب بودن تمامی قطعات محصولشان برای نصب ایمن در مناطق خطرناک انفجاری مطمئن باشند.

تأثیر راهنمای 94/9/EC بر پمپ ها و سازندگان در یکی از مدارک تولید شده توسط EUROPUMP (جامعه اروپایی سازندگان پمپ) توضیح داده شده است.

#### ۶. کنترل دور محرکه های الکتریکی

##### ۱.۶ کنترل موتور

می توان موتورهای زیر را برای کنترل دور مد نظر داشت:

- موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون سه فاز
- موتورهای القایی رینگ لغزان آسنکرون سه فاز
- موتورهای سنکرون سه فاز
  - موتورهای رلوکتانس
  - موتورهای مگنت ثابت

موتورهای DC بندرت به عنوان محرکه پمپ های سانتریفیوژ استفاده می شوند.

سرعت چرخش موتور القایی سه فاز برابر است با:

$$\text{Rotor Speed } n = \frac{f}{p \cdot (1 - S)}$$

که f: فرکانس شبکه ، p: تعداد قطب ها ، S: لغزش می باشد.

بنابراین سه راه برای کنترل دور موتورهای سه فاز وجود دارد:

- تغییر تعداد قطب های موتور
- تغییر فرکانس
- تغییر لغزش

## ۱.۱.۶. موتورهای چند قطبی

موتورهای چند قطبی در فرکانس ثابت شبکه قادرند به صورت گام به گام سرعت را تغییر دهند. عموماً تغییر قطب فقط مربوط به موتورهای القایی قفس سنجابی سه فاز می باشد.

ساده ترین روش این کار، روش سویچ دالاندر است که سیم پیچی یک فاز به چندین شیار مرتبط به هم توزیع می شود. اما این روش تنها اجازه تغییر دور به نسبت ۱ به ۲ را می دهد.

با دو سیم پیچ، سه یا چهار دور می توان بدست آورد.

جدول ۲۱: متداولترین ترکیب بندی موتور های چند قطبی

| تعداد سیم پیچ ها | نوع سیم پیچی   | تعداد قطب ها | سرعت سنکرون در ۵۰ هرتز به rpm |
|------------------|--|--------------|-------------------------------|
| ۱                | سویچ دالاندر   | ۴ / ۲        | ۱۵۰۰ / ۳۰۰۰<br>۷۵۰ / ۱۵۰۰     |
| ۲                | سیم پیچ های جداگانه  | ۶ / ۴        | ۱۰۰۰ / ۱۵۰۰                   |
| ۳                | سیم پیچ های جداگانه اما با ۱۵۰۰ / ۷۵۰ دور بر دقیقه در سویچ دالاندر | ۸ / ۶ / ۴    | ۷۵۰ / ۱۰۰۰ / ۱۵۰۰             |

به عنوان یک قانون، سیم پیچ ها طوری طراحی شده اند که گشتاور عملاً در تمام سرعت ها ثابت می باشد. اما برای محرکه های پمپ، ممکن است موتورهایی باشد که سیم پیچ ها با الزامات گشتاور پمپ تطبیق شوند، مثلاً گشتاور با مربع سرعت افزایش یابد. این موتورها اغلب به عنوان محرکه های هواکش نامیده می شوند.

## ۲.۱.۶. تغییر فرکانس

کنترل فرکانس با استفاده از مبدل فرکانسی بدست می آید. این مبدل ها به دو گونه می باشند:

- مبدل ولتاژی
- مبدل جریانی

با مبدل ولتاژی، سرعت با تغییر فرکانس  $f$  بوسیله پالس مناسب  $U$  تغییر می کند. این مبدل ها با فرکانس و ولتاژ ثابت (مثلاً 3 AC 50/60Hz, 380 to 690 V) در سیستم سه فاز با ولتاژ و فرکانس متغیر (سه فاز AC، صفر تا ۲۰۰ هرتز، از صفر ولت تا ولتاژ نامی) تولید می شود.

با مبدل جریانی، سرعت با تغییر فرکانس  $f$  بوسیله پالس های جریان که وابسته به بار مناسب است، تغییر می کند. این مبدل ها از یک ولتاژ سه فاز با فرکانس و دامنه ثابت (مثلاً ۳ فاز AC با ۵۰ / ۶۰ هرتز) و سیستم سه فاز با فرکانس متغیر (سه فاز AC صفر تا ۵۰ / ۶۰ هرتز) و جریان وابسته به بار، تولید می شوند.

برای پمپ های سانتریفیوژ و فن ها، مبدل ها با یک مشخصه  $U/f$  عمومی، مناسب می باشند. پمپ ها می توانند به طور پیوسته با کمترین اتلافات، تنظیم دور شوند. برای پمپ های سانتریفیوژ که رابطه منحنی گشتاور / سرعت شناخته شده دارند  $(M \sim n^2)$ ، نیاز نیست هیچگونه اتلاف عملکرد یا گشتاور برای موتورهای معمولی در مقایسه با عملکرد عادی در نظر گرفته شود. به همین دلیل، تنظیم سرعت با مبدل بعد از نصب پمپ، معمولاً اشکالی ایجاد نمی کند.

وقتی از کنترل دور استفاده می شود، حد بالایی سرعت مکانیکی موتور، و همچنین محدودیت های مکانیکی و هیدرولیکی پمپ باید در نظر گرفته شود. به طور مشابه باید حداقل سرعت توصیه شده سازندگان پمپ به خاطر بارهای هیدرولیکی مد نظر قرار گیرد.

مبدل های فرکانسی برای موارد زیر می تواند مورد توجه قرار گیرد:

### موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون سه فاز

این موتورها وسیعترین کاربرد را برای مبدل های فرکانسی دارند. تمامی انواع این موتورها، تا سایز فریم ۲۵۰ و تا ولتاژ شبکه ۵۰۰ ولت می توانند با تنظیم دور استفاده شوند. موتورهای با فریم ۲۸۰ به بالا و یا با ولتاژ شبکه بالاتر از ۵۰۰ ولت، احتیاج به محافظت ویژه برای بلبرینگ ها و گاهی اوقات، بسته به سایز، نصب ویژه دارند.

با انتخاب موتور، گشتاور مورد نیاز در سرعت ماکزیمم باید مورد توجه قرار گیرد.

موتورهای کوچکتر تا توان ۷.۵ کیلووات با مبدل های یکپارچه ساخته می شوند. این باعث مزیت به خاطر عدم نیاز به سیم کشی خارجی بین موتور و مبدل و کاهش خطر برق گرفتگی می شود.

موتورهای ولتاژ بالا، می توانند با مبدل های فرکانسی ولتاژ بالا تأمین شوند.

### موتورهای رلوکتانس

موتورهای رلوکتانس موتورهای سه فاز با رفتار سنکرون هستند که سیم پیچ ها به استاتور ثابت شده اند. روتور ولتاژ تحریک را انتقال نمی دهد. ولتاژ القا شده در سیم پیچ های استاتور به خاطر چرخش روتور باعث تغییر در مقاومت مگنت (رلوکتانس) می شود. حرکت سنکرون توسط طراحی ویژه روتور بدست می آید.

موتورهای رلوکتانس ابعاد کلی مشترک با فریم های موتورهای استاندارد دارند و در ساختارهای IM B3، IM B5 و IM V1 موجود می باشند. این موتورها با کلاس حفاظتی IP 55 و کلاس خنک کاری IC 411 و همچنین موتورهای ۴ قطبی در فریم های ۷۱ تا ۱۶۰ و توان های ۰.۱۷ تا ۸.۵ کیلووات ساخته می شوند. این موتورها می توانند با مبدل های فرکانسی در محدوده ۵۰ تا ۲۰۰ هرتز و سرعت های ۱۵۰۰ تا ۶۰۰۰ دور بر دقیقه کار کنند.

### موتورهای مگنت ثابت

موتورهای مگنت ثابت، موتورهای سنکرون سه فاز، خود استارت، بدون جاروبک و بطور دائم تحریک شده می باشند. روتور برای راه اندازی آسنکرون روتور قفس سنجابی و یک روتور مگنت ثابت برای عملکرد سنکرون دارد. مگنت های ثابت از مواد فریتی یا آلیاژهای کمیاب در کوپلینگ های مگنتی، ساخته شده اند.

موتورهای مگنت ثابت ابعاد کلی مشترک با فریم های موتورهای استاندارد دارند و در ساختارهای IM B3، IM B5 و IM V1 موجود می باشند. این موتورها با کلاس حفاظتی IP 44 و کلاس خنک کاری IC 411 و همچنین موتورهای ۲، ۴ و ۶ قطب در فریم های ۷۱ تا ۱۶۰ و توان های ۰.۳ تا ۵.۵ کیلووات ساخته می شوند. نوع ۲ قطبی می تواند با مبدل های فرکانسی در محدوده ۵۰ تا ۳۰۰ هرتز و سرعت های ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰۰ دور بر دقیقه کار کند. ماکزیمم فرکانس برای موتورهای ۴ و ۶ قطبی ۲۰۰ هرتز است.

### ۳.۱.۶. تغییر لغزش

این سیستم تغییر دور برای موتورهای آسنکرون با روتورهای رینگ لغزان استفاده می شود.

این موتورها می توانند با مبدل های سری شده، مقاومت نوسانی یا با یک میدان شبکه دوگانه (چرخشی) کار کنند.

برای پمپ های سانتریفیوژ، عموماً تنها مبدل های سری ساب سنکرون Sub-synchronous مورد توجه می باشند. کنترل دور بوسیله تغییر مقاومت روتور بدست می آید. لغزش بطور پیوسته بوسیله افزایش مقاومت خارجی متصل شده به سیم پیچ روتور در داخل رینگ های لغزان، کنترل می شود. محدوده کنترل سرعت بین 1:3 و 1:5 می باشد. وقتی از اتصال سری (کاسکید) استفاده می شود، توان لغزش  $P_{slip}$  که بوسیله رینگ های لغزان مصرف می شود از طریق مبدل به شبکه برگردانده می شود. مبدل جریانی برای برای ماکزیمم توان لغزش  $P_{slip}$  سایز می شود. توان لغزش از طریق اتصال سری (کاسکید) برگردانده می شود.

## ۲.۶. کوپلینگ دور متغیر

صرفنظر از کنترل دور محرکه، تنظیم سرعت پمپ با کوپلینگ دور متغیر امکان پذیر است. این وسیله می تواند مکانیکی یا الکترومکانیکی باشد. کوپلینگ های هیدرولیکی که به عنوان کوپلینگ های هیدرودینامیکی یا سیالی شناخته شده اند می تواند استفاده شود. همچنین این کوپلینگ ها می تواند با یک گیربکس توربو ترکیب شود و تشکیل یک کوپلینگ قابل تنظیم گیربکسی را بدهد.

این کوپلینگ های دنده ای برای مثال در نیروگاه های برق برای تنظیم دور به اندازه نیاز جهت پمپ های تغذیه دیگ بخار استفاده می شوند.

کوپلینگ های سیالی از یک سیال انتقال دهنده، معمولاً روغن توربین، برای انتقال گشتاور بین محورهای محرک Drive و متحرک Driven استفاده می کنند. چرخ پمپاژ روی محور محرک توان مکانیکی را به توان هیدرولیکی از طریق شتاب دادن به سیال انتقال دهنده، تبدیل می کند. توان هیدرولیکی ایجاد شده به طور معکوس بوسیله چرخ توربین روی محور متحرک به توان مکانیکی تبدیل می شود. اگر سرعت چرخ های محرک و متحرک یکسان باشد، هیچ گشتاوری ایجاد نمی شود و توان منتقل نمی شود. بنابراین برای انتقال توان باید همیشه لغزش بین چرخش های محرک و متحرک وجود داشته باشد. مثلاً محرک سرعت بالاتری نسبت به متحرک داشته باشد. لغزش و بنابراین تنظیم دور می تواند بوسیله تغییر در پر کردن محفظه کوپلینگ بوسیله یک لوله قابل تنظیم، کنترل شود. کنترل سرعت پیوسته در محدوده 1:4 تا 1:5 امکان پذیر است.

راندمان یک کوپلینگ سیالی بسیار خوب است و لغزش حین انتقال قدرت بسیار کم است. اتلافات در کوپلینگ باعث ایجاد توان لغزشی و اتلافات مکانیکی می شود و باید بوسیله خنک کن روغن، خارج شود. تنظیم سرعت بیشتر باعث لغزش بیشتر و کاهش راندمان می شود اما این موضوع در محدوده قابل پذیرش می باشد.

## ۷. جداول انتخاب برای موتورهای القایی قفس سنجابی آسنکرون سه فاز

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.

جدول ۲۲: بررسی موتورهای القایی قفس سنجایی، سطح خنک شده مطابق استاندارد DIN

| Construction          | Protection class  | DIN      | Selection table              |
|-----------------------|---|----------|------------------------------|
| IM B 3                | IP 44 or above<br><br>EEx e II Increased safety<br>EEx d IIC<br>Explosion proof | 42 673-1 | 9.23<br>9.24<br>9.25<br>9.26 |
|                       |   | 42 673-2 | 9.27                         |
|                       |   | 42 673-3 | 9.28                         |
|                       |   |          |                              |
| IM B 35,<br>B5 and V1 | IP 44 or above<br><br>EEx e II Increased safety<br>EEx d IIC<br>Explosion proof | 42 677-1 | as above                     |
|                       |   | 42 677-2 | <i>note:</i>                 |
|                       |   | 42 677-3 | IM B 35 to 315 L             |
|                       |   |          | IM B 5 to 200 L              |

مقادیر داده شده در جداول ۲۲ تا ۲۵ برای راندمان، ضریب قدرت و جریان نامی، مقادیر راهنما می باشند و اطلاعات دقیقتر تنها باید از سازنده موتور دریافت شود.

جدول ۲۳: موتورهای القایی قفس سنجایی سطح خنک شده آسنکرون سه فاز، IP 55.

سایز فریم 80 تا 315 L (موتورهای نورم)

| Frame size | 3000 rpm, 2-pole 50Hz |                            |                    |                            | 1500 rpm, 4-pole 50Hz |                            |                    |                            |
|------------|-----------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
|            | Rated power kW        | Efficiency % <sup>1)</sup> | Power factor cos φ | Rated current Amp at 400 V | Rated power kW        | Efficiency % <sup>1)</sup> | 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                     |                            |                    |                            |
| 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                       | 7.5                   |                            |                    |                            |
| 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                       |
| 180 M      | 22                    | 92                         | 0.88               | 39                         | 18.5                  | 90.5                       | 0.83               | 35                         |
|            |                       |                            |                    |                            | 22                    |                            |                    |                            |
| 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                        |                       |                            |                    |                            |

(۱) ذیل جدول ۲۴ را نگاه کنید.

جدول ۲۴: موتورهای القایی قفس سنجایی سطح خنک شده آسنکرون سه فاز، IP 55.

سایز فریم 315 تا 450 (موتورهای ترانس - نورم)

| Frame size | 3000 rpm, 2-pole 50Hz |              |                         |                            | 1500 rpm, 4-pole 50Hz |              |                         |                            |
|------------|-----------------------|--------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------|-------------------------|----------------------------|
|            | Rated power kW        | Efficiency % | Power factor cos $\phi$ | Rated current Amp at 400 V | Rated power kW        | Efficiency % | Power factor cos $\phi$ | 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 <sup>1)</sup>          |
| 450        | 800                   | 97           | 0.91                    | 760                        | 800                   | 97           | 0.88                    | 780 <sup>1)</sup>          |
|            | 900                   | 97           | 0.92                    | 840 <sup>2)</sup>          | 900                   | 97           | 0.88                    | 880 <sup>1)</sup>          |
|            | 1000                  | 97           | 0.93                    | 920 <sup>2)</sup>          | 1000                  | 97           | 0.89                    | 970 <sup>1)</sup>          |

(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. / (مترجم)

(۲) در ولتاژ ۶۹۰ ولت اندازه گیری شده است.



جدول ۲۵: موتورهای القایی قفس سنجایی، سطح خنک شده، آسنکرون سه فاز، IP 55، سایز فریم 160 تا 450

(موتورهای نورم و ترانس - نورم)

| Frame size | 1000 rpm, 6-pole 50Hz |              |                         |                            | 750 rpm, 4-pole 50Hz |              |                         |                            |
|------------|-----------------------|--------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|--------------|-------------------------|----------------------------|
|            | Rated power kW        | Efficiency % | Power factor cos $\phi$ | Rated current Amp at 400 V | Rated power kW       | Efficiency % | Power factor cos $\phi$ | 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                        |
|            |                       |              |                         |                            |                      |              |                         |                            |
| 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                       |

جدول ۲۶: موتورهای القایی قفس سنجابی، سطح خنک شده، آسنکرون سه فاز، حفاظت انفجاری EEx e II، ایمنی افزایش یافته.

سایز فریم 90 تا 355 (موتورهای نورم و ترانس - نورم)

| Frame size | 3000 rpm                       |                   | 1500 rpm          |                   | 1000 rpm         |                  |
|------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|
|            | Rated kW for temperature class |                   |                   |                   |                  |                  |
|            | T1, T2                         | T3                | T1, T2            | T3                | T1, T2           | T3               |
| 90 S       | 1.3                            | 1.3               | 1                 | 1                 | 0.65             | 0.65             |
| 90 L       | 1.85                           | 1.85              | 1.35              | 1.35              | 0.95             | 0.95             |
| 100 L      | 2.5                            | 2.5               | 2<br>2.5          | 2<br>2.5          | 1.3              | 1.3              |
| 112 M      | 3.3                            | 3.3               | 3.6               | 3.6               | 1.9              | 1.9              |
| 132 S      | 4.6                            | 4.6               | 5                 | 5                 | 2.6              | 2.6              |
| 132 M      | 6.5                            | 5.5               | 6.8               | 6.8               | 3.5<br>4.8       | 3.5<br>4.8       |
| 160 M      | 9.5<br>13                      | 7.5<br>10         | 10                | 10                | 6.6              | 6.6              |
| 160 L      | 16                             | 12.5              | 13.5              | 13.5              | 9.7              | 9.7              |
| 180 M      | 19                             | 15                | 17                | 15                |                  |                  |
| 180 L      |                                |                   | 20                | 17.5              | 13.2             | 13.2             |
| 200 L      | 25<br>31                       | 20<br>24          | 27                | 24                | 16.5<br>20       | 16.5<br>20       |
| 225 S      |                                |                   | 33                | 30                |                  |                  |
| 225 M      | 38                             | 28                | 40                | 36                | 27               | 27               |
| 250 M      | 47                             | 36                | 50                | 44                | 33               | 33               |
| 280 S      | 64                             | 47                | 68                | 58                | 40               | 40               |
| 280 M      | 76                             | 58                | 80                | 70                | 50               | 46               |
| 315 S      | 95                             | 68                | 100               | 84                | 68               | 64               |
| 315 M      | 112                            | 80                | 120               | 100               | 82               | 76               |
| 315 L      | 135<br>165                     | 100<br>125        | 135<br>165        | 115<br>135        | 98<br>120<br>135 | 92<br>110<br>125 |
| 315        | 200<br>255                     | 150<br>190        | 200<br>245        | 170<br>215        | 175<br>215       | 160<br>200       |
| 355        | 300<br>335<br>400              | 220<br>258<br>300 | 275<br>315<br>400 | 240<br>275<br>350 | 275<br>340       | 250<br>315       |

جدول ۲۷: موتورهای القایی قفس سنجایی، سطح خنک شده، آسنکرون سه فاز، حفاظت انفجاری EEx de IIC، ضد انفجار، سایز فریم 80 تا 315 (موتورهای نورم)

| Frame size | 3000 rpm                                | 1500 rpm | 1000 rpm | 750 rpm |
|------------|---|----------|----------|---------|
|            | Rated kW for temperature class T1 to T4 |          |          |         |
| 80         | 0.75                                    | 0.55     | 0.37     |         |
|            | 1.1                                     | 0.75     | 0.55     |         |
| 90 L       | 1.5                                     | 1.1      | 0.75     | 0.37    |
|            | 2.2                                     | 1.5      | 1.1      | 0.55    |
| 100 L      | 3                                       | 2.2      | 1.5      | 0.75    |
|            |   | 3        |          | 1.1     |
| 112 M      | 4                                       | 4        | 2.2      | 1.5     |
| 132 S      | 5.5                                     | 5.5      | 3        | 2.2     |
| 132 M      | 7.5                                     | 7.5      |          |         |
|            |   |          | 4        | 3       |
|            |   |          | 5.5      |         |
| 160 M      | 11                                      | 11       | 7.5      | 4       |
|            | 15                                      |          |          | 5.5     |
| 160 L      | 18.5                                    | 15       | 11       | 7.5     |
| 180 M      | 22                                      | 18.5     |          |         |
| 180 L      |   | 22       | 15       | 11      |
| 200 L      | 30                                      | 30       | 18.5     | 15      |
|            | 37                                      |          | 22       |         |
| 225 S      | 45                                      | 37       |          | 18.5    |
| 225 M      |   | 45       | 30       | 22      |
| 250 M      | 55                                      | 55       | 37       | 30      |
| 280 S      | 75                                      | 75       | 45       | 37      |
| 280 M      | 90                                      | 90       | 55       | 45      |
| 315 S      | 110                                     | 110      | 75       | 55      |
| 315 M      | 132                                     | 132      | 90       | 75      |
|            | 160                                     | 160      | 110      | 90      |
|            |   |          | 132      | 110     |
| 315 L      | 200                                     | 200      | 160      | 132     |

جدول ۲۸: موتورهای القایی قفس سنجایی، سطح خنک شده، آسنکرون سه فاز، حفاظت انفجاری EEx de IIC،  
ضد انفجار، سایز فریم 355 تا 450 (موتورهای نورم)

| Frame size | 3000 rpm                               | 1500 rpm | 1000 rpm | 750 rpm |
|------------|--|----------|----------|---------|
|            | Rated kW for temperature class T1 toT4 |          |          |         |
| 355 M      | 250                                    | 225      | 200      | 160     |
| 355 L      | 315                                    | 250      | 250      | 200     |
|            |  | 280      |          |         |
|            |  | 315      |          |         |
| 400 S      | 355                                    | 355      | 280      | 250     |
| 400 M      | 400                                    | 400      | 315      | 280     |
| 400 L      |  | 450      | 355      | 315     |
| 450 M      | 450                                    | 500      | 400      | 355     |
| 450 L      | 500                                    | 560      | 450      | 400     |
|            | 560                                    | 630      | 500      | 450     |