بنام خدا

بخش ششم
طراحی ماشین القائی

طراحی ماشین القائی

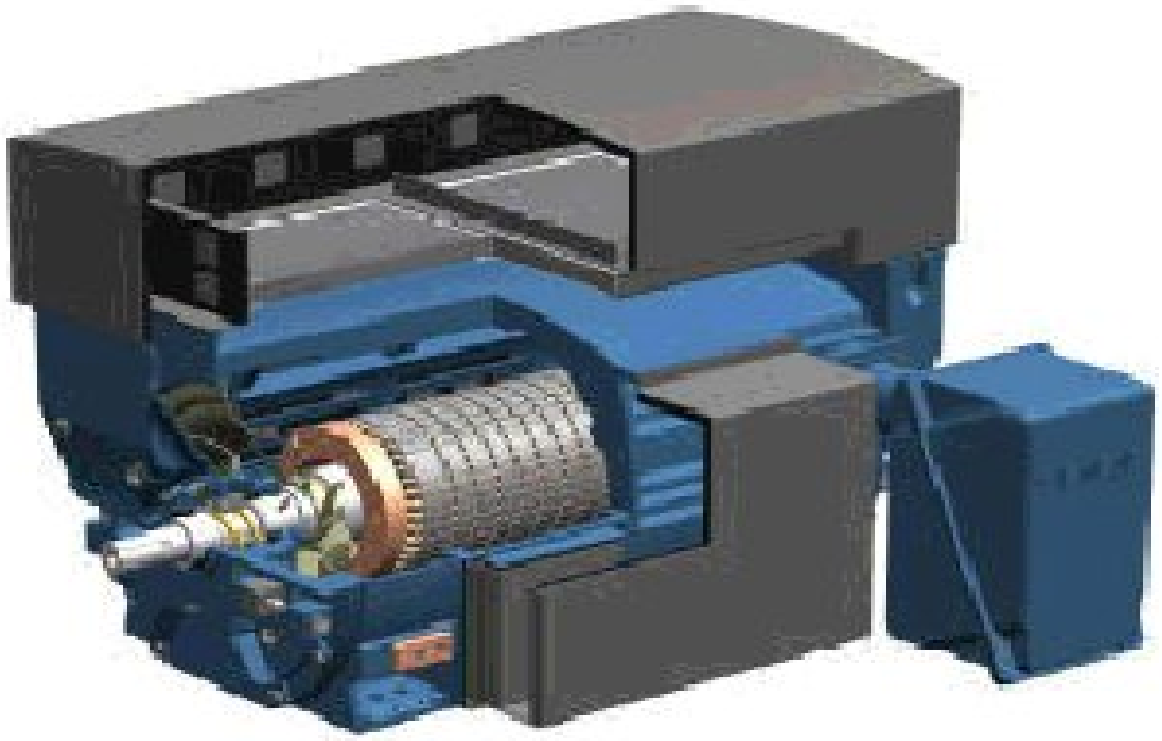


FIG. 8 - Cut away view of motor with rotor

طراحی ماشین القائی

- ماشینهای القایی معمولاً در حالت موتوری به کار گرفته شده و معمول ترین نوع موتور را برای کاربردهای صنعتی و خانگی فراهم می نمایند.
- شهرت و اعتبار موتور القایی از ساختار ساده آن ناشی می شود که موجب گردیده با مقادیر نامی مشابه، قیمت و هزینه کمتری نسبت به موتورهای dc داشته باشد.
- موتورهای القایی عملاً به هیچ نوع نگهداری و تعمیری نیاز ندارند

مزايا و معايب موتورهاي القايي

- معایب اصلی موتورهای القایی، جریان راه اندازی بالای آنها و ضریب قدرت پائین آنها در بارهای کم می باشد. با این وجود، در بسیاری از کاربردها، مزایای این موتورها بیشتر از معایب آنهاست.

- با پیشرفت هایی که در زمینه الکترونیک قدرت صورت گرفته، موتورهای القایی به طور گسترده تر در محرکه های سرعت متغیر برای کاربردهای صنعتی و فرآیندهای مختلف به کار می روند.

جزئیات ساختاری

- *عملکرد موتور القایی نیازمند دو سیم پیچ است، یک سیم پیچ اولیه که بوسیله منبع جریان متناوبی تحریک می شود و سیم پیچ ثانویه که اتصال کوتاه شده است*

- *در طراحی مرسوم، سیم پیچ اولیه روی استاتور قرار داده می شود در حالی که سیم پیچ ثانویه را روتور حمل می کند، اما لازم نیست همیشه اینگونه باشد.*

محاسبات طراحی

- معادله خروجی ماشینهای AC در اینجا یادآوری می شود:

$$Q = C_{\circ} D^2 L n_s$$

$$C_{\circ} = 1/11 \pi^2 B_{av} \ ac \ K_w \times 10^{-3}$$

$$Q(KVA) = \frac{P_{\circ}(KW)}{\eta Cos\phi}$$

$$K_w = K_d K_c$$

محاسبات طراحی

- برای شروع محاسبات می توان ضریب توزیع را برای موتورهای سه فاز برابر ۰/۹۵۵ در نظر گرفته (برابر با ۳ شیار در هر قطب برای هر فاز)، ضریب گام را برابر واحد فرض نمود.
- ضریب سیم پیچی هنگامی که سیم پیچ استاتور (اولیه) طراحی می گردد، مشخص خواهد شد. مقادیر اولیه راندمان و ضریب قدرت را می توان از جدول مربوطه بدست آورد که مقادیر نمونه ای برای موتورهای تغذیه شده از شبکه را نشان می دهد

محاسبات طراحی

جدول راندمان و ضریب قدرت موتورهای القایی قفس سنجابی ۴ قطب سه فاز

توان خروجی	راندمان	ضریب قدرت
۰/۲۵	۰/۶۸	۰/۷۵
۰/۷۵	۰/۷۲	۰/۷۵
۲/۲	۰/۸۱	۰/۸۲
۳/۷	۰/۸۳	۰/۸۴
۷/۵	۰/۸۶	۰/۸۷
۱۵/	۰/۸۸	۰/۸۹
۳۷/	۰/۹	۰/۹

انتخاب چگالی شار فاصله هوایی

- مقدار چگالی شار فاصله هوایی علاوه بر تحت تاثیر قرار دادن جریان مغناطیس کنندگی و ضریب قدرت، چگالی شار در دندانه ها و ظرفیت اضافه بار موتور را مشخص می نماید. چگالی شار زیاد موجب افزایش تلفات هسته و افزایش جریانهای مغناطیس کنندگی می گرددو ازطرفی باعث کاهش راکتانس نشتی میگردد.

- برای جلوگیری از افزایش جریانهای مغناطیس کنندگی، موتورهای القایی برای مقادیر متوسط و مناسب چگالی شار طراحی می شوند.

انتخاب چگالی شار فاصله هوایی

- چگالی شار فاصله هوایی باید به نحوی انتخاب گردد که در هیچ قسمت از مدار مغناطیسی، اشباعی وجود نداشته باشد.

- در حالت کلی طراحی های قابل قبول و رضایت بخش در مورد موتورهای القایی تغذیه شده از شبکه با توان نامی تا ۲۲ کیلووات زمانی بدست می آید که چگالی شار فاصله هوایی بین ۰/۳۵ تا ۰/۶ تسلا باشد، که مقادیر بیشتر نیز برای موتورهای بزرگتر است. مقادیر کوچکتر را می توان برای طراحی موتورهای ۴۰۰ هرتز مورد استفاده قرار داد.

انتخاب بارگذاری الکتریکی ویژه

- مقدار آمپر هادیها در هر متر از محیط استاتور در فاصله هوایی (ac) به اندازه موتور، نوع محفظه و تهویه و ظرفیت اضافه بار مطلوب (یا راکتانس نشتی مجاز) بستگی دارد.

- مقدار زیاد ac ، تلفات مسی زیاد و افزایش دمای بالا را نتیجه می دهد. سیستم تهویه ای که مورد استفاده قرار گرفته باید طوری طراحی شده باشد که افزایش دما، از ماکزیموم مقدار مجازی که توسط کلاس عایق به کار رفته تعیین گردیده ، تجاوز ننماید.

انتخاب بارگذاری الکتریکی ویژه

- مقدار زیاد آمپر هادیها در هر متر موجب خواهد شد تا تعداد بیشتری هادی مورد نیاز باشند و این امر راکتانس نشتی ماشین را افزایش می هد.

- در مورد موتورهای کوچک، بارگذاری الکتریکی ویژه معمولاً بین ۸۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ آمپر هادی بر متر می باشد. مقادیر بیشتر برای موتورهایی به کار می برند که جهت کار در شرایط فرو رفته در سیال مایع، طراحی شده اند

تعداد قطبها

- تعداد قطبها را می توان به راحتی برحسب سرعت سنکرون و فرکانس تغذیه به صورت زیر بیان نمود:

$$P = \frac{2f}{n_s}$$

دانشگاه علم وصنعت ایران

ابعاد اصلی

- پس از انتخاب مقادیر اولیه برای بارگذاریهای الکتریکی و مغناطیسی ویژه، ضریب قدرت و راندمان، ضریب خروجی و حاصل ضرب طول و قطر ماشین D^2L محاسبه می‌شوند.

عواملی که لازم است تا هنگام تفکیک برای طول و قطر موتورهای القایی مورد توجه قرار بگیرند، به طور خلاصه،درانتخاب نسبت طول هسته به گام قطب موتور به شکل زیر نمایان میشوند

ابعاد اصلی

انتخاب نسبت طول هسته به گام قطب موتور: L / τ

- حداقل هزینه — بین ۱/۵ تا ۲
- ضریب قدرت خوب — بین ۱ تا ۱/۵
- راندمان خوب — برابر با ۱/۵
- طراحی متعادل — برابر با ۱

ابعاد اصلی

- برای موتورهای کوچک، مقادیر زیاد L/τ قطرهای کوچکی را نتیجه می دهند که ممکن است حتی حداقل تعداد شیار را هم نتوانند در خود جای دهند.
- مقدار L/τ برابر با ۰/۶ را که مقدار پائینی است می توان برای ماشینهای دو قطب که دارای توان نامی در حد چند کیلووات هستند و برای بعضی از موتورهای کسر از اسب بخار مورد استفاده قرار داد. در حالت کلی:

$$L = \frac{\pi D}{P} \times (0/6 \text{ to } 2/0)$$

طول فاصله هوایی

- برای به حداقل رسانیدن جریان مغناطیس کنندگی و برای بدست آوردن عملکردی رضایت بخش و قابل قبول، فاصله هوایی باید تا حدی که ساختار مکانیکی ماشین اجازه می دهد کوچک باشد.
- با این حال، استفاده از فاصله هوایی بزرگ یک سری مزایایی را نیز در پی خواهد داشت. تلفات ضربان و نویز مغناطیسی که از تغییر رلوکتانس فاصله هوایی ناشی می شوند، با افزایش فاصله هوایی کاهش می یابند. فاصله هوایی بزرگ در موتورهای خنک شده با فن، شرایط حرارتی را بهبود می بخشد.

طول فاصله هوایی

- در اغلب موارد، نیاز به ضریب قدرت مناسب، طول شعاعی فاصله هوایی را به مینیموم فاصله آزاد مکانیکی محدود می نماید. حداقل طول تقریبی فاصله هوایی، بر حسب میلی متر را می توان به کمک فرمول تجربی زیر تعیین نمود:

$$l_g = 3/06 - \frac{6560}{D + 2280}$$

طراحی استاتور

شیارهای استاتور:

- در موتورهای کوچک، شیارهای باریک نیمه بسته با دندانه های با کناره های موازی مورد استفاده قرار می گیرند. نیاز به شیارهای نیمه بسته به علت مقدار کم فاصله هوایی پدید می آید، این ترکیب ضربانهای شار را کاهش می دهد. استفاده از شیارهای نوک تیز مخروطی، ماکزیموم مساحت شیار را برای یک چگالی دندانه معین نتیجه می دهد.
- بطور کلی، تعداد شیارهای زیاد، به عایق شیار بیشتر و نیز به تعداد سیم پیچهای بیشتری برای سیم پیچی، عایق کاری و نصب آن نیاز دارند و این امر موجب می گردد هزینه ساخت افزایش یابد.

طراحی استاتور

- از سوی دیگر، شار نشتی و سهم آن در راکتانس نشتی موتور، به طور معکوس با تعداد شیارهای هر قطب در هر فاز متناسب می باشد. بنابراین، تعداد شیارهای هر قطب در هر فاز نباید از دو کمتر باشد در غیر این صورت راکتانس نشتی زیاد خواهد شد.
- برای آنکه هزینه ساخت تا حد امکان پائین نگه داشته شود، تعداد شیارهای استاتور باید طوری انتخاب گردد که بیشترین تعداد ترکیبهای قطب، فاز و ولتاژ را بتوان در یک پوسته معین فراهم کرد.

طراحی سیم پیچی استاتور

- سیم پیچی استاتور ممکن است هم از نوع تک لایه (با یک بازوی کلاف در هر شیار) و هم از نوع دو لایه باشد.

- معمول ترین نوع سیم پیچی که برای موتورهای القایی کوچک به کار می روند، سیم پیچی های حلقوی تک لایه هستند. سیم پیچی های تک لایه نوع متحدالمرکز و سیم پیچی های دو لایه در بعضی از موتورهای صنعتی به کار می روند

طراحی سیم پیچی استاتور

- در مورد سیم پیچی های حلقوی، همه کلافها دارای گام یکسانی هستند و در هر فاز برای هر جفت قطب فقط یک گروه کلاف موجود می باشد و بنابراین، ماکزیموم تعداد مدارهای موازی برابر با نصف تعداد قطبهاست.

- گام کلاف برحسب تعداد شیارها در سیم پیچی های حلقوی باید برای موتورهای سه فاز فرد بوده و برای موتورهای دو فاز زوج باشد.

طراحی سیم پیچی استاتور

ولتاژ القاء شده در سیم پیچی آرمیچر برابر است با :

$$E_S = 4/44\ f\ \phi\ T_S K_{ws}$$

- E_S ولتاژ القا شده در سیم پیچی استاتور در هر فاز
- f فرکانس منبع تغذیه
- ϕ شار در هر قطب
- T_S تعداد دورهای سیم پیچی استاتور برای هر فاز در حالت سری
- K_{ws} ضریب سیم پیچی استاتور

طراحی سیم پیچی استاتور

ولتاژ القاء شده در هر فاز را می توان برابر با ولتاژ فاز ترمینال منهای حاصل ضرب جریان مغناطیس کنندگی ورآکتانس نشتی استاتور در نظر گرفت. در ابتدا می توان آنرا ۰/۹۷ ولتاژ فاز ترمینال فرض نمود. تعداد دورها در هر فاز استاتور برابر است با:

$$T_S = \frac{E_S}{4/44\, f\, \phi\, K_{ws}}$$

$$\phi = B_{av}\, \tau L_i$$

طراحی سیم پیچی استاتور

جریان فاز استاتور به صورت زیر بدست می آید:

$$I_S = \frac{P_\circ \times 10^3}{3 V_{ph} \cos \phi \ \eta}$$

- جریان هادی، با تقسیم نمودن جریان فاز موتور به تعداد مدارهای موازی آرمیچر بدست می آید.
- چگالی جریان در سیم پیچی استاتور یک موتور القایی استاندارد را می توان بین ۳ تا ۶ A / mm^2 ، در نظر گرفت.
- سطح مقطع هادی استاتور برابر است با:

$$a_s = \frac{I_{zs}}{\delta_s} \qquad mm^2$$

طراحی سیم پیچی استاتور

طول تقریبی دور متوسط برای یک سیم پیچی تک لایه را می توان از فرمول زیر تعیین نمود:

$$L_{mts} = 2L + 2/3\tau$$

- هنگامی که تعداد هادیها در هر شیار و نیز سطح مقطع هادی مشخص باشند، با در نظر گرفتن مقداری برای ضریب اشغال شیار، مساحت تقریبی شیار را می توان بدست آورد.

- در موتورهای القایی کوچک، شیارهای نیمه بسته مورد استفاده قرار میگیرد. دراین روش ساخت، مقدار ضریب اشغال شیار در حدود ۰/۴ است که در حالت کلی نیز از ۰/۵ بیشتر نمی باشد :

$$A_{ss} = \frac{Z_{ss}\, a_s}{0/4}$$

طراحی سیم پیچی استاتور

- شیارهای عمیق موجب می شوند تا نشتی شیار بیشتر شود و در حالت کلی، نسبت عمق به پهنای شیار را بین ۳ تا ۶ در نظر گیریم.
- شیار باید به گونه ای انتخاب گردد که ماکزیموم چگالی شار بدست آمدهٔ دندانه حدود ۱/۷ تسلا باشد.
- مقاومت استاتور در هر فاز برابر است با:

$$r_s = \frac{\rho T_S L_{mts}}{a_s \times 10^{-6}}$$

هسته و دندانه های استاتور

- تلفات هسته وجریان مغناطیس کنندگی مستقیماً با چگالی شار دندانه تغییر می کنند. بنابراین، چگالی شار زیاد در دندانه ها مطلوب نمی باشد. حداقل پهنای دندانه استاتور، برحسب متر برابر است با:

$$W_{ts} = \frac{P\phi / S_s}{1/7\, L_i}$$

هسته و دندانه های استاتور

- چگالی شار متوسط در هسته استاتور نباید از ۱/۵ تسلا تجاوز نماید. با توجه به آنکه نیمی از شار قطب از هسته عبور می کند، حداقل عمق هسته ، برحسب متر برابر است با:

$$d_{cs} = \frac{\phi / 2}{1/5 L_i}$$

هسته و دندانه های استاتور

- قطر بیرونی استاتور D_o برحسب متر برابر است با:

$$D_\circ = D + 2d_{ss} + 2d_{cs}$$

- d_{ss} عمق شیار استاتور برحسب متر می باشد.

طراحی روتور قفس سنجابی

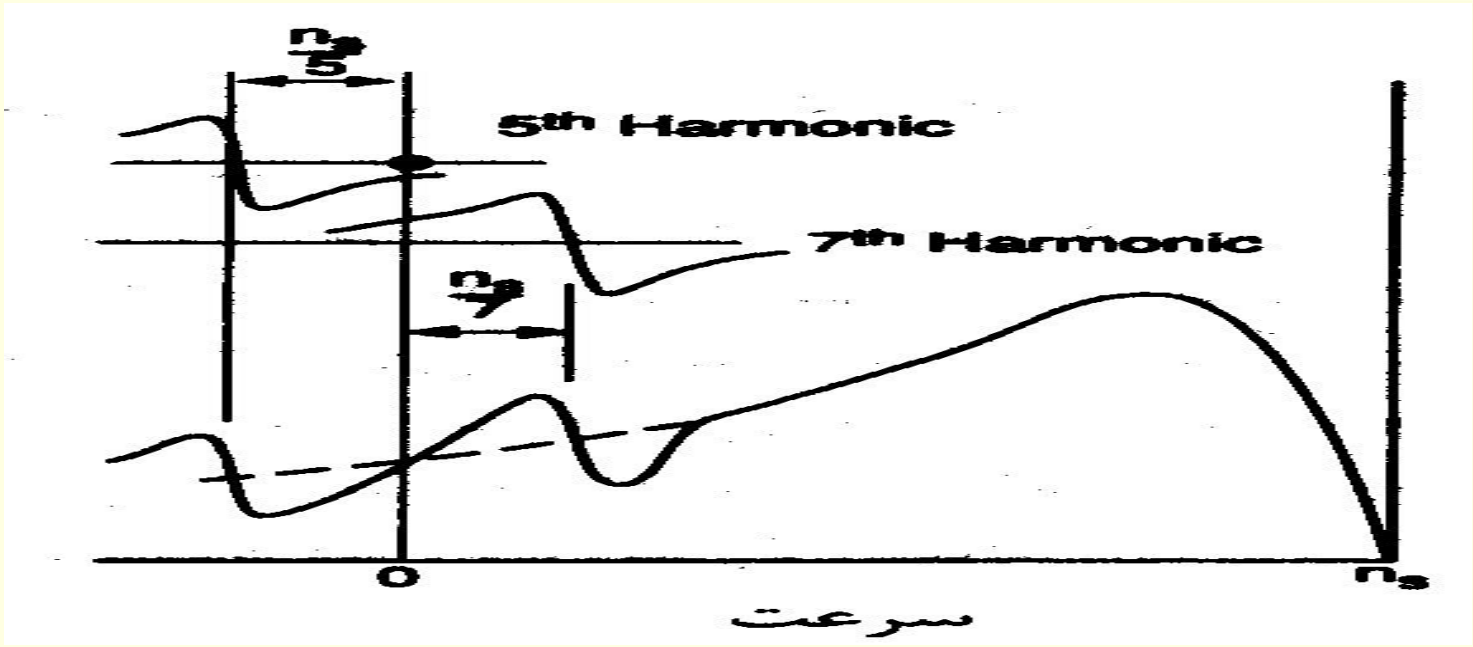
- در عمل توزیع شار فاصله هوایی شامل تعدادی هارمونی می باشد. این هارمونیها به علت این که فاصله هوایی بدلیل دهانه های شیار استاتور و روتور کاملاً صاف و یکدست نیست (هارمونیهای شیار) بوجود می آیند. به علاوه، هارمونی ها ممکن است به علت اشباع و عدم تقارن در طول فاصله هوایی بوجود آیند.

- شارهای هارمونی را می توان به صورت یک مجموعه قطب اضافی در نظر گرفت، بعضی از آنها به طرف جلو حرکت می کنند (در جهت میدان اصلی) و برخی دیگر در جهت عکس گردش می کنند

طراحی روتور قفس سنجابی

- همه این قطب/هارمونیها در سرعتهای زیر سنکرون حرکت می نمایند. روتور قفس سنجابی مشابه با همان رفتاری که در مقابل شار اصلی ارائه می کند به دیگر هارمونی ها نیز واکنش نشان می دهد و بنابراین، برای هر هارمونی مشخصه گشتاور- سرعت پارازیتی کاملی بدست می آید.
- در نتیجه، مشخصه گشتاور- سرعت موتور منحنی یکنواخت و یکدستی نیست بلکه در لغزش های بزرگ دارای بی نظمی ها، فرورفتگی ها و نوک تیزیهایی می باشد. این موارد ممکن است موجب شوند موتور در حالت سکون قفل شده و برای راه اندازی دچار مشکل شود یا اینکه در بعضی از سرعتهای زیر سنکرون به طور خزنده کار کرده و افزایش نویز در طول دوره کاری را سبب شوند.

طراحی روتور قفس سنجابی



- باید دقت داشت که در موتورهای با حلقه لغزان، احتمال پدید آمدن چنین دردسرهایی کمتر می باشد زیرا روتورهایشان برای تعداد مشخصی قطب سیم پیچی می شوند و بنابراین نسبت به هارمونی ها حساسیت کمتری دارند

تعداد شیارهای روتور

- در یک سیم پیچی سه فاز حامل جریانهای سینوسی، هارمونی های تولیدی مرتبه به قرار زیر می باشند:

$$n = 6N \pm 1$$

- جهت چرخش هارمونی بسته به علامت، هم جهت یا خلاف جهت چرخش می باشد.
- تعداد قطبهای هارمونی n ام، n برابر تعداد قطبهای اصلی است.

هارمونیهای شیار

- اگر هارمونیهای استاتور و روتور هم مرتبه باشند واگرسرعت آنها طوری باشد که بر هم منطبق شوند، این هارمونیها به یکدیگر قفل شده و گشتاورسنکرون را ایجاد می نمایند. در صورتی که چنین گشتاوری به اندازه کافی بزرگ باشد موتور در سرعت ثابتی زیر سنکرون شروع به خزش خواهد کرد.

- برای موتور ۳ فاز با تعداد قطب P ، مرتبه هارمونی های میدان استاتور و روتور ناشی از شیار گذاری، به ترتیب برابر خواهد بود با:

هارمونی های شیار

$$n = 6q \pm 1 = \left(\frac{2S_s}{P} \right) \pm 1$$

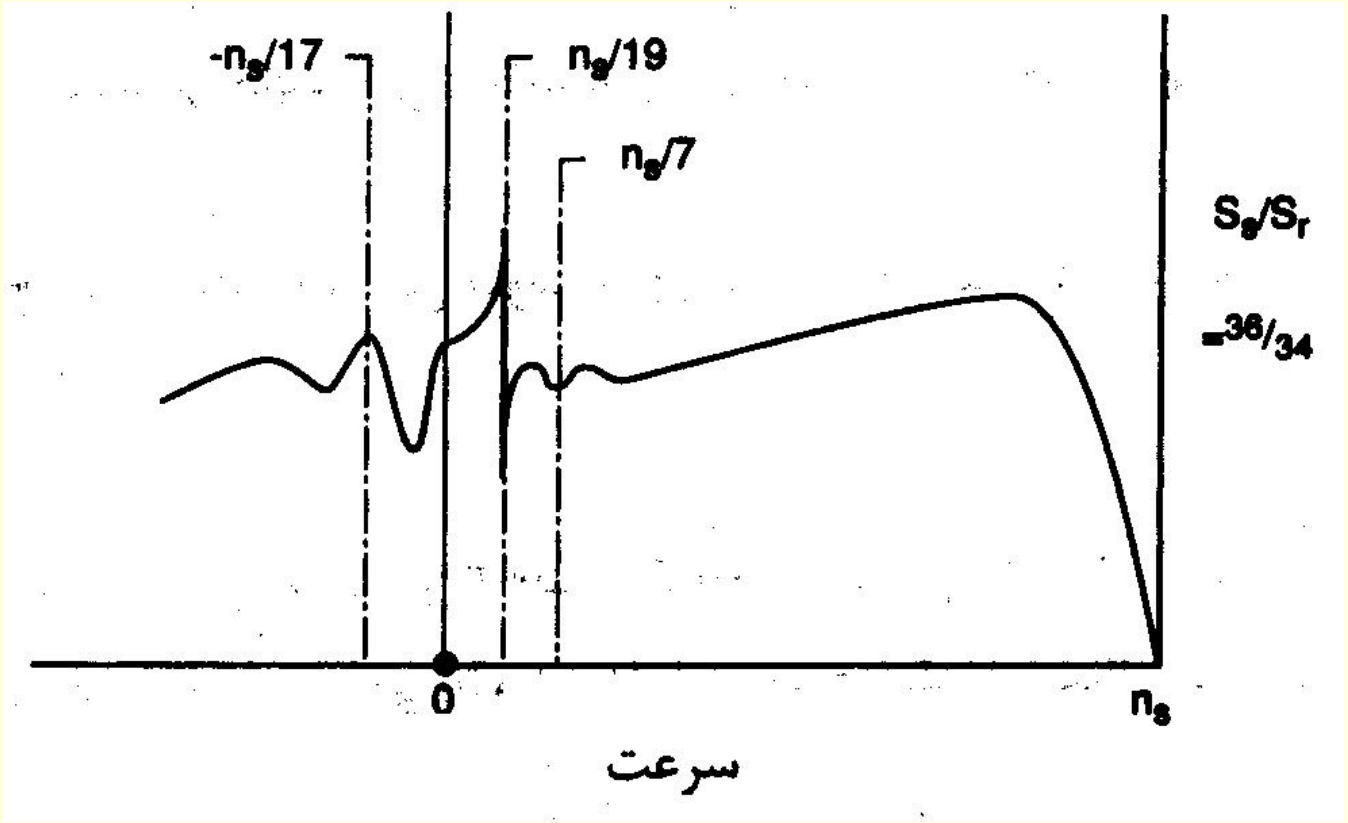
$$n' = \left(\frac{2S_r}{p} \right) \pm 1$$

هارمونی ها به ترتیب با سرعت $1/n$, $1/n'$ می چرخند. این سرعتها هنگامی برابر خواهند بود که:

$$\left(\frac{2S_s}{P} \right) \pm 1 = \left(\frac{2S_r}{P} \right) \pm 1$$

هارمونی های شیار

اثر شیار گذاریهای روتور و استاتور و ترکیب آنها :



دانشگاه علم وصنعت ایران

قوانین انتخاب ترکیبهای شیار استاتور-روتور

- انتخاب صحیح و عاقلانه ترکیب شیار استاتور- روتور کمک می‌کند تا تاثیر مزاحم ترین هارمونی ها روی کارکرد ماشین کاهش یابد. برای این کار باید از قوانین کلی زیر پیروی نمود:

۱- تعداد شیارهای روتور نباید به هیچ وجه با تعداد شیارهای استاتور برابر باشد. عملکرد رضایت بخش برای تعداد شیارهای روتور ۱۵ تا ۳۰ درصد بزرگتر یا کوچکتر از تعداد شیارهای استاتور رخ میدهد.

قوانین انتخاب ترکیبهای شیار استاتور-روتور

۲- برای جلوگیری از ایجاد نوک تیزیهای سنکرون، اختلاف بین شیارهای استاتور و روتور نباید برابر با $P, 2P, 5P$ باشد.

۳- در موتورهای سه فاز برای جلوگیری ازایجاد قفل مغناطیسی اختلاف بین تعداد شیارهای استاتور و روتور نباید برابربا 3P یا هر مضربی از 3Pباشد.

۴- برای جلوگیری از ایجاد نویز و لرزش و ارتعاش، اختلاف بین تعداد شیارهای استاتور و روتور نباید برابر با ۲، ۱ ، P+1 یا P+2 باشد.

قوانین انتخاب ترکیبهای شیار استاتور-روتور

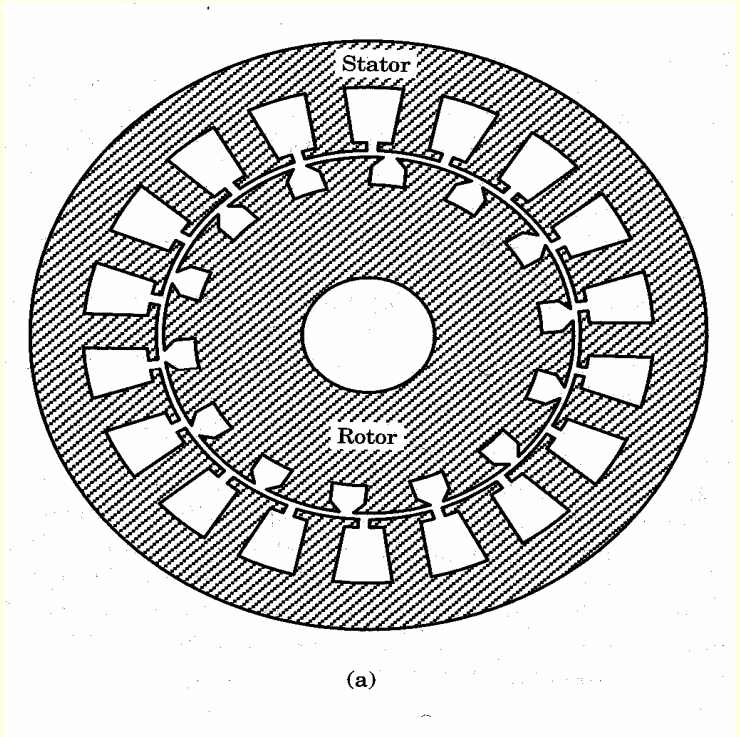
- بعضی از این ترکیبات برای موتورهای 50 هرتزصنعتی عبارتند از:

P=2	۳۶/۲۸	۳۶/۲۴	۳۶/۲۲	۱۸/۲۳
	۵۴/۳۸	۴۸/۳۸	۴۲/۳۲	۳۶/۳۲
P=4	۴۸/۴۰	۲۴/۱۷	۲۴/۳۳	
	۶۰/۵۲	۶۰/۴۲	۴۸/۶۰	
P=6	۵۴/۳۸	۴۸/۴۴	۳۶/۴۰	۳۶/۴۴
	۷۲/۵۸	۷۲/۵۶	۷۲/۵۴	
P=8	۷۲/۶۰	۷۲/۵۲		

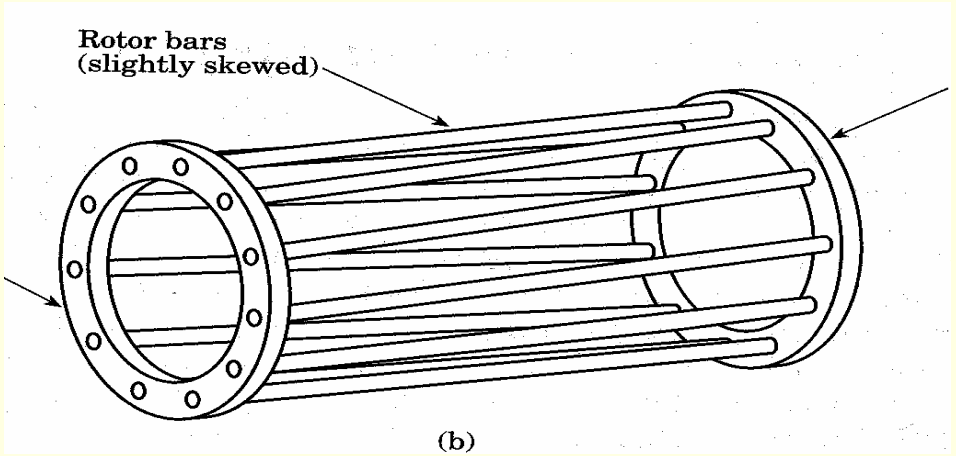
میله های روتور و حلقه های انتهایی

- کل آمپر دورهای روتور را می توان بین ۰/۸۵ تا ۰/۹ برابر کل آمپر دورهای استاتور در نظر گرفت.
- بین میله های قفس و هسته روتور هیچ عایقی به کار نمی رود و ممکن است روتور در چگالی جریان بسیار بیشتری نسبت به استاتور به کار گرفته شود.
- طول متوسط دور کلافهای روتور کوتاهتر از استاتور بوده و لذا تهویه بهتر می باشد. چگالی جریان در میله های روتور را می توان حدود دو برابر چگالی جریان در سیم پیچی استاتور در نظر گرفت.

میله های روتور و حلقه های انتهایی



(a)



(b)

میله های روتور و حلقه های انتهایی

- بنابراین، نسبت کل سطح مقطع هادی روتور به کل سطح مقطع مس استاتور تقریباً برابر است با:

$$\frac{A_{cr}}{A_{cs}} = 0/9 \times \frac{1}{2} = 0/45$$

میله های روتور و حلقه های انتهایی

- مساحت هادی روتور را باید نسبت به طول میله و مقطع حلقه انتهایی طوری انتخاب نمود که بتوان مقاومت مناسب روتور را جهت پاسخگویی به گشتاور راه اندازی و نیازهای کاری ماشین حین حرکت بدست آورد.

- سطح مقطع هر میله برحسب کل مساحت هادی در روتور و تعداد میله های روتور، به صورت زیر بدست می آید:

$$a_b = \frac{A_{cr}}{S_r}$$

میله های روتور و حلقه های انتهایی

- در محاسبه مساحت شیار روتور می‌توان فاصله آزادی بین ۰/۱۵ تا ۰/۴ میلی متر در نظر گرفت. مقاومت کل میله های قفس سنجابی برابر است با:

$$r_b = S_r \frac{\rho L_b}{a_b}$$

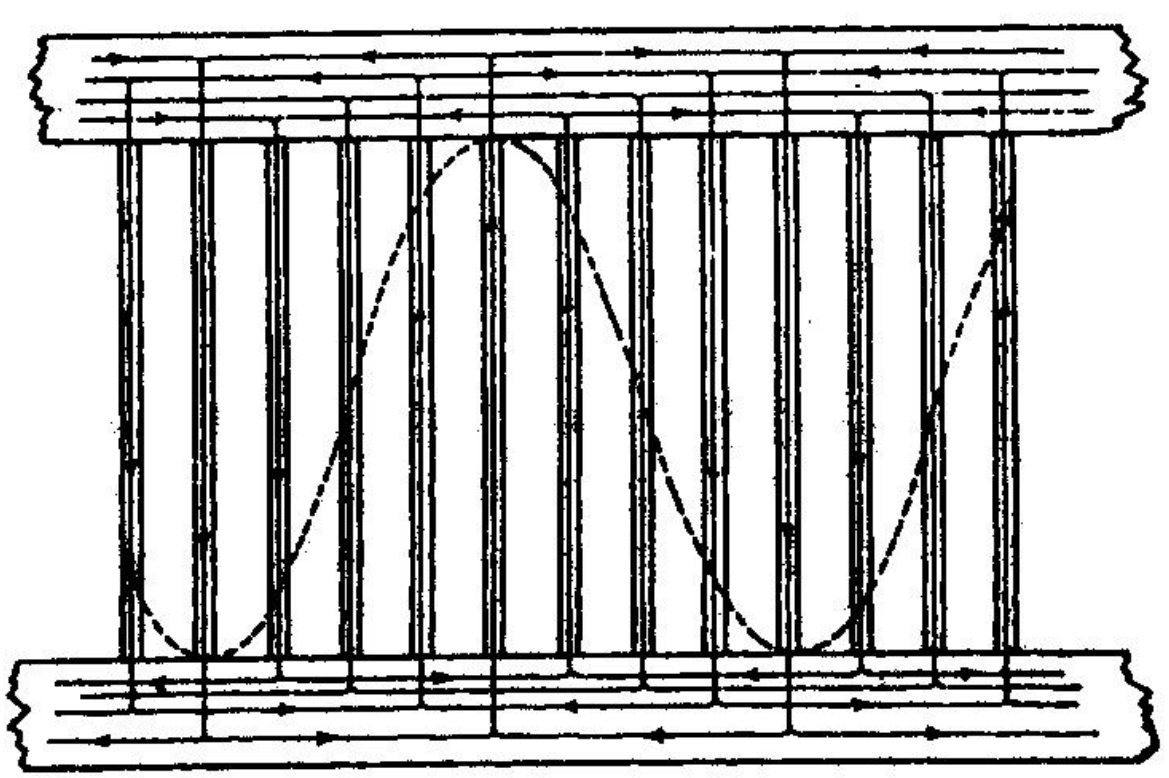
L_b طول محوری میله می باشد.

میله های روتور و حلقه های انتهایی

- ماکزیموم مقدار جریان حلقه انتهایی از حاصل ضرب جریان متوسط میله و نصف تعداد میله‌ها (یا شیارهای روتور) در هر قطب بدست می آید. با فرض اینکه جریان حلقه انتهایی، مشابه با جریان میله، به صورت سینوسی تغییر می کند، مقدار مؤثر جریان حلقه انتهایی برابر می شود با:

$$I_{er} = \frac{2}{\pi}\sqrt{2}\ I_b \times \frac{S_r/2}{P} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{I_b S_r}{\pi P}$$

میله های روتور و حلقه های انتهایی



شکل ۵-۱۰ توزیع جریان در یک سیم پیچی قفس.

میله های روتور و حلقه های انتهایی

- چگالی جریان در حلقه انتهایی را می توان برابر با و یا اندکی بیشتر از چگالی جریان در میله ها در نظر گرفت.
- در اغلب موارد ابعاد حلقه انتهایی طوری انتخاب می گردد که سهم آن در مقاومت سیم پیچی روتور حداقل باشد. سطح مقطع هر حلقه انتهایی برابر است با:.

$$a_{er} = \frac{I_{er}}{\delta_{er}} = \frac{I_b S_r}{\pi P \delta_{er}} \qquad mm^2$$

میله های روتور و حلقه های انتهایی

مساحت کل مقطع میله ها برابر است با:

$$A_{cr} = \frac{I_b S_r}{\delta_b}$$

سطح مقطع هر حلقه انتهایی را برحسب کل مقطع هادی روتور به صورت زیر بدست می آوریم :

$$a_{er} = \frac{A_{cr}}{\pi p} \frac{\delta_b}{\delta_{er}}$$

میله های روتور و حلقه های انتهایی

مقاومت دو حلقه انتهایی برابر است با:

$$r_{er} = 2\frac{\rho\pi D_{er}}{a_{er}}$$

کل تلفات مسی روتور را می توان به صورت زیرنوشت :

$$I_b^2 r_b + I_{er}^2 r_{er} = \rho I_b^2 S_r^2 \left[\frac{L_b}{S_r a_b} + \frac{2D_{er}}{\pi P^2 a_{er}}\right]$$

میله های روتور و حلقه های انتهایی

با تقسیم تلفات به مربع جریان میله، مقاومت کل روتور را به صورت زیر بدست میآوریم :

$$R_r = \rho S_r^2 \left[\frac{L_b}{S_r a_b} + \frac{2D_{er}}{\pi P^2 a_{er}} \right] \qquad \Omega$$

- مقاومت روتور ارجاع شده به طرف استاتور برابر است با مقاومت روتور ضربدر مربع نسبت دورهای موثر روتور به دورهای مؤثر استاتور. این نسبت تبدیل برابر است با:

$$\left[\frac{2m_s T_s K_{ws}}{S_r} \right]^2$$

میله های روتور و حلقه های انتهایی

مقاومت سیم پیچی قفس سنجابی در هر فاز برحسب سیم پیچی استاتور برابر است با:

$$r_r' = 4m_s T_s^2 K_{ws}^2 \rho \left[\frac{L_b}{S_r a_b} + \frac{2D_{er}}{\pi P^2 a_{er}} \right]$$

در مورد موتورهای القایی کوچک که پهنای شعاعی حلقه انتهایی در مقایسه با سطح مقطع میله بزرگ می باشد، جهت محسوب نمودن توزیع جریان غیر یکنواخت در حلقه باید مؤلفه حلقه انتهایی مقاومت قفس را تصحیح نمود.

دندانه روتور و هسته

- فرکانس شار روتور خیلی کم و تلفات هسته ناچیز است. ماکزیمم چگالی شار در دندانه روتور برابر با ماکزیمم چگالی شار مجاز در دندانه استاتور در نظر گرفته میشود.(۱/۷ تسلا)

- چگالی شار در هسته روتور را عموماً برابر با چگالی شار هسته استاتور در نظر گرفته که مقدار آن نباید از ۱/۵ تسلا تجاوز کند. زمانی که هسته روتور نیمی از شار قطب را حمل می کند، حداقل عمق هسته را می توان به کمک معادلات بدست آورد.

$$d_{cr} = \frac{\phi / 2}{1/5 L_i}$$

مشخصه های کاری

جریان بی باری:

- جریان بی باری یک موتور القایی از دو مؤلفه تشکیل می گردد : جریان مغناطیس کنندگی که نسبت به ولتاژ اعمال شده ۹۰ درجه اختلاف فاز دارد و مؤلفه تلفات که با ولتاژ هم فاز است.

با محاسبه کل آمپر دورها در هر قطب که جهت عبور شاردرمدارمغناطیسی مورد نیاز می باشند، جریان مغناطیس کنندگی بدست می آید.

- محاسبه مؤلفه تلفات جریان بی باری مستلزم تعیین تلفات بی باری است.
- این تلفات همان تلفات آهنی در دندانه ها و هسته ها و تلفات بادخوری واصطکاک می باشند .

مشخصه های کاری

- تلفات آهنی در هسته و دندانه های استاتور، با محاسبه وزن مربوط به هر یک از آنها و ضرب کردن آن در تلفات ویژه (در هر واحد وزن) متناظر با مقادیر چگالی شار، مشخص می شوند.

- از آنجا که فرکانس روتور خیلی کم می باشد، می توان از تلفات آهنی روتور صرفنظر نمود. با این حال، در بعضی از طراحی های روتور سیم پیچی شده هنگامی که از موتور انتظار می رود تا در طول سیکل بارگذاری اش در لغزشهای زیاد کار کند، باید تلفات آهنی روتور را در محاسبات تلفات لحاظ نمود.

مشخصه های کاری

- تلفات بادخوری و اصطکاک به ساختمان موتور بستگی دارند و در حالت کلی بسیار مشکل است که مقادیر دقیقی را برای آنها تقریب بزنیم. هنگامی که داده های آزمایش روی ماشینهای مشابه در دسترس نمی باشد، تلفات بادخوری و اصطکاک را می توان بین ۱ تا ۳ درصد خروجی نامی در نظر گرفت.

مؤلفه تلفات جریان بی باری در هر فاز برای موتورهای سه فاز برابر است با:

$$I_p = \frac{\mathrm{NLL}}{3E_S}$$

مشخصه هاي كاري

- جریان بی باری در هر فاز برابر است با:

$$I_{\circ} = \sqrt{I_{m}^{2} + I_{p}^{2}}$$

- برای موتورهای القایی کوچک مقادیر معمول جریان بی باری بین ۳۰ تا ۵۰ درصد جریان بار کامل می باشد.

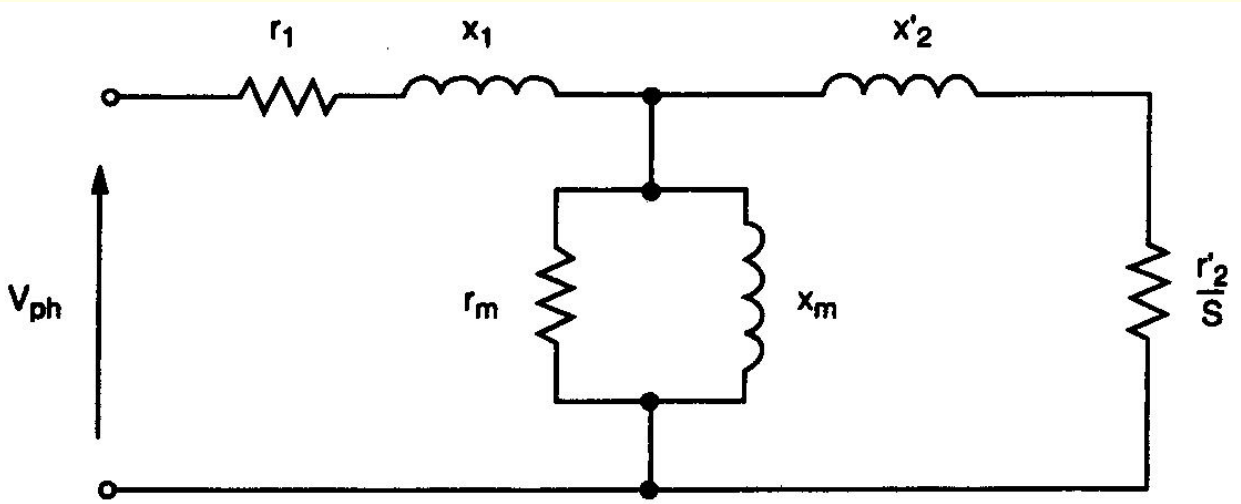
پارامترهای مدار معادل

- راکتانس مغناطیس کنندگی در هر فاز، را می توان هنگامی که جریان مغناطیس کنندگی و راکتانس نشتی استاتور مشخص است، به صورت زیر محاسبه نمود:

$$x_m = \frac{V_{ph}}{I_m} - x_1$$

- از مدار معادل میتوان برای تعیین مشخصه های کاری موتوراستفاده کرد. امااین مدار، باید اشباع مغناطیسی را شامل شود.

پارامترهای مدار معادل



شکل ۵-۱۲مدار معادل موتور القایی.

دانشگاه علم وصنعت ایران

طراحی نمونه

- **نمونه طراحی**

طراحي يك موتور القايي قفس سنجابي ۰/۲۵KW ، ۱۳۸۰RPM، ۴۱۵V، اتصال ستاره، ۵۰Hz، سه فاز و چهار قطب در نظر است. اين موتور كلاس عايقي F داشته و قرار است در بازار رقابتي تنگاتنكي فروخته شود.

طراحی نمونه

- **ابعاد اصلی**

مقادیر قابل قبول راندمان و ضریب قدرت، براي مقادیر داده شده، هر یك حدود ۰/۷ مي باشند. بنابراین:

$$Q = \frac{0/25}{0/7 \times 0/7} = 0/51 \quad KVA$$

- برای مقادیر ویژه :

$B_{av} = 0/5T \quad , \quad ac = 22000$ متر / آمپر هادی

طراحی نمونه

مقدار اولیه برای ضریب سیم پیچی برابر ۰/۹۵۵ در نظر گرفته می شود، ضریب خروجی برابر است با:

$$C_o = 1/11\pi^2 \times 0/5 \times 22000 \times 0/955 \times 10^{-3} = 115$$

سرعت سنکرون ۲۵rev/s می باشد. حجم فعال برابر است با:

$$D^2L = \frac{0/51}{115 \times 25} = 1/77 \times 10^{-4} \qquad m^3$$

براي يك طراحي كم هزينه، نسبت طول هسته به گام قطب بايد بين ۱/۵ تا ۲ باشد.

طراحی نمونه

با فرض اینکه نسبت طول هسته به گام قطب برابر ۱/۵ باشد، قطر و طول هسته به ترتیب ۵۳ میلي متر و ٦۳ میلي متر خواهد شد.

براي داشتن هزینه پائین، ورقه با قطر ۵۵ میلي متر را به کار مي بریم.
بنابراین:

$$D = 55 \quad mm \qquad , \qquad L = 58 \quad mm$$

و همچنین :

$$\frac{L}{\tau} = 1 / 34$$

طراحی نمونه

ضخامت ورقه ۰/۵ میلی متر و ضریب فشردگی ۰/۹۵می باشد. طول آهن خالص ۵۵/۱ و گام قطب ۴۳/۲ میلی متر می باشد. شار هر قطب برابر است با:

$$\phi = 0/5 \times 0/0551 \times 0/043 = 1/18 \qquad \text{mwb}$$

طول فاصله هوايي به كمك معادله مربوطه مشخص مي گردد::

$$l_g = 3/06 - \frac{6560}{55 + 2280} = 0/25 \qquad \text{mm}$$

طراحی نمونه

طراحی استاتور

- تعداد شيارها براي هر قطب در هر فاز (q) بايد يك عدد صحيح بوده و نبايد كمتر از ۲ باشد.
- تعداد شيارهاي استاتور را(q=2) ۲٤ انتخاب ميكنيم.
- مقدار متناظر ضريب توزيع سيم پيچي ۰/۹٦٦ مي باشد. شيارهاي نوك تيز مخروطي نيمه بسته مورد استفاده قرار مي گيرند.

طراحی نمونه

emf القاء شده در سيم پيچي استاتور را مي توان ۰/۹۷ برابر مقدار فاز ولتاژ اعمال شده در نظر گرفت. بنابراين :

$$E_s = 0/97 \times \frac{415}{\sqrt{3}} = 232/4 \qquad V$$

تعداد دورها در هر فاز به صورت زير به كمك معادله مربوطه مشخص مي گردد::

$$T_s = \frac{232/4}{4/44 \times 50 \times 1/18 \times 10^{-3} \times 0/966} = 918$$

طراحی نمونه

- تعداد کل هاديهاي استاتور ۵۵۰۸ بوده و تعداد هاديها در هر شيار ۲۲۹/۵ مي باشد.
- بنابراين ما در هر شيار ۲۳۰ هادي را به کار مي بريم. تعداد دورها در حالت سري در هر فاز ۹۲۰ خواهد بود.
- براي اين موتور، سيم پيچي حلقوي استفاده مي شود و تعداد کلافها برابر با نصف تعداد شيارهاي استاتور، يا ۱۲ مي باشد.
- گام قطب ٦ شيار بوده و زاويه شيار ۳۰ درجه الکتريکي است. بنابراين، ما گام کلاف ۵ شيار، يا ۱۵۰ درجه الکتريکي را به کار مي بريم.

طراحی نمونه

سیم پیچي با يك شيار كمتر، با گام كوتاه انجام شده و ضريب گام برابر است با:

$$K_c = \sin\frac{150}{2} = 0/966$$

حال ضريب سيم پيچي استاتور مشخص مي گردد:

$$K_{ws} = K_{ds}K_{cs} = 0/966 \times 0/966 = 0/933$$

طراحی نمونه

مقدار شار در هر قطب و چگالي فاصله هوايي بايد به صورت زير تصحيح گردد:

$$\phi = \frac{232/4}{4/44 \times 50 \times 920 \times 0/933} = 1/22 \quad \text{mwb} \qquad , \qquad B_{av} = \frac{\phi}{\tau L_i} = 0/51 \quad \text{T}$$

جريان فاز استاتور برابر است با:

$$I_S = \frac{0/51 \times 10^3}{3 \times 240} = 0/7 \qquad \text{A}$$

طراحی نمونه

با توجه به کلاس عایق کاري، چگالي جريان سيم پيچي استاتور ۶ در نظر گرفته ميشود. سطح مقطع هادي برابر است با:

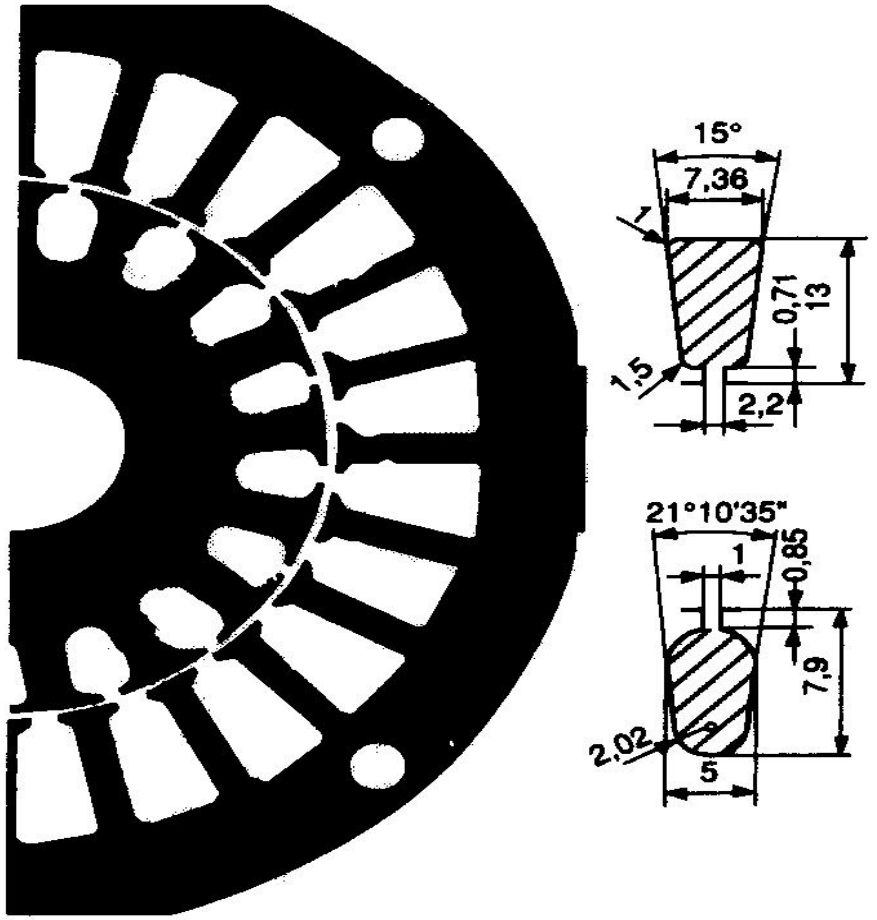
$$a_s = \frac{0/7}{6/0} = 0/118 \quad mm^2$$

قطر هادي مورد نياز ۳۹mmمي باشد. نزديكترين سيم استاندارد، قطر ۴۰mmرا داشته و سطح مقطع آن ۱۲۵۷ mm2 است.

طراحی نمونه

یکی از ورقه های با قطر mm ۵۵ در شکل روبرو نشان داده شده است. مزیت استفاده از این ورقه ها ترکیب شیار آنهاست.

مساحت کل ۲۳۰ هادی در هر شیار حدود mm^2 ۷۲/۶ بوده و مساحت هر شیار برابر mm^2 ۲۸/۹ است. ضریب اشغال شیار حدود ۰/۴ می‌باشد.



شکل ۵-۱۳ ورقه های استاتور و روتور

طراحی نمونه

طول دور متوسط سیم پیچ استاتور به به صورت زیر محاسبه مي شود:

$$L_{mts} = 2\times 0/058 + 2/3\times 0/43 = 0/215 \ \ m$$

در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد مقاومت استاتور برابر است:

$$r_s = \frac{1/8\times 10^{-8}\times 920\times 0/215}{0/1257\times 10^{-6}} = 28/4 \qquad \Omega$$

طراحی نمونه

چگالی دندانه برابر است با:

$$B_{ts} = \frac{1/22 \times 10^{-3} / 6}{0/0551 \times 0/003} = 1/23 \quad T$$

عمق هسته استاتور ۳۹/۹mmبوده و چگالی شار هسته برابر است با:

$$B_{cs} = \frac{1/22 \times 10^{-3} / 2}{0/0551 \times 9/39 \times 10^{-3}} = 1/28 \quad T$$

طراحی نمونه

طراحی روتور

قطر روتور برابر است با:

$$D_r = D - 2l_g = 55 - 2\times 0/25 = 54/5 \quad mm$$

تعداد ۲٤ شیار استاتور و ۱۷ شیار روتور، معیار بحث شده را ایفا مي نماید. جزئیات ورقـه و استاتور در جدول ارائه شده است.

جدول ۵-۳ جزئیات ورقه های استاتور و روتور

Part	O/D (mm)	I/D (mm)	A_s (mm^2)	W_t (mm)
Stator	99/78	55/00	72/60	3/00
Rotor	54/50	18/00	27/70	3/90

طراحی نمونه

حال نسبت مساحت کل هادي روتور به مساحت مس استاتور محاسبه میـشود که در محدوده مورد نظر باشد :

$$\frac{A_{cr}}{A_{cs}} = \frac{471}{693} = 0/68$$

سپس، چگالي جريان را در ميله هاي روتور امتحان مي كنيم:

$$I_b = \frac{2 \times 3 \times 0/933 \times 920}{17} \times 0/73 \times 0/7 = 154/9 \quad A$$

و چگالی جریان در حدود ۵/۶ می باشد که کاملاً قابل قبول است.

طراحی نمونه

اکنون مقادیر چگالی شار هسته و دندانه روتور نیز آزمایش میشوند. پهنای دندانه ۳/۹ mm بوده و چگالی شار دندانه برابر است با:

$$B_{tr} = \frac{1/22\times10^{-3}}{17/4\times0/0551\times3/9\times10^{-3}} = 1/34 \quad T$$

عمق هسته روتور ۱۱/۸ mm بوده و چگالي هسته حدود ۰/۹ T مي باشد.
بنابراين، چگالي شار هسته و دندانه روتور هر دو قابل قبول اند.

طراحی نمونه

جریان حلقه انتهايي به صورت زير محاسبه مي شود:

$$I_{er} = \frac{154/9 \times 17}{\pi \times 4} = 209/5 \quad A$$

فرض کنيد قطر حلقـه انتهـايي ۵۳ mm بـوده، ضـخامت شـعاعي آن ۸ mm و طول محوري آن ۱۰mm باشد.

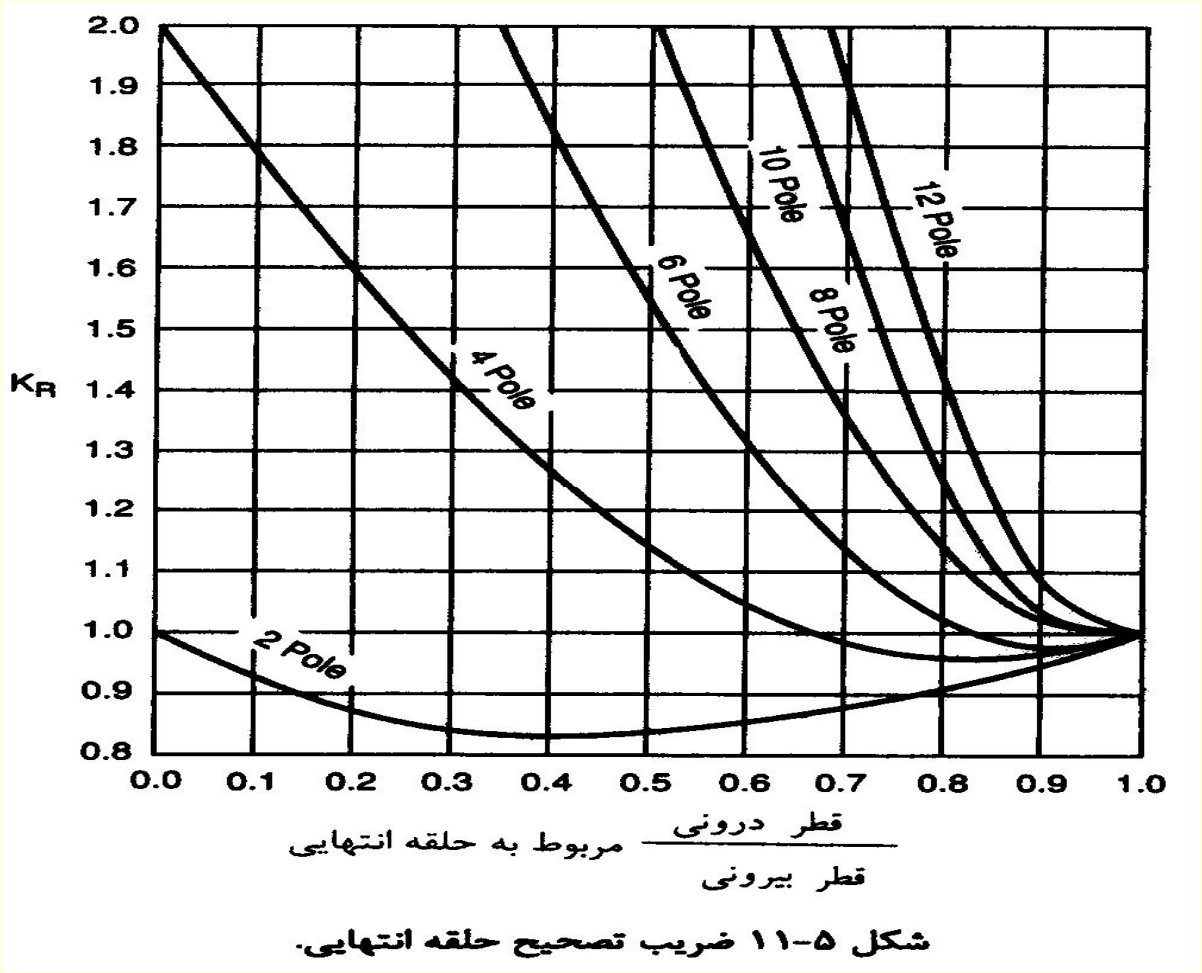
مساحت حلقه انتهايي ۸۰ خواهد شـد کـه چگـالي جريـان در حلقـه انتهايي حدود ۲/۶ مي شود.

طراحی نمونه

- قطر متوسط حلقه انتهايي ٤٩ mm است.
- ضريب تصحيح حلقه انتهايي از شكل مربوطه برابر ۰/۹۵ بدست مي آيد.
- مقاومت سيم پيچ قفس در هر فاز ارجاع شده به طـرف اسـتاتور بـه صورت زير محاسبه مي شود:

$$r' = 12\times 92^2\times 0/93^2\times 2/7\times 10^{-2}\left[\frac{0/058}{17\times 27/7}+\frac{2\times 0/049\times 0/95}{\pi\times 16\times 80}\right]=34/9\ \Omega$$

طراحی نمونه



شکل ۵-۱۱ ضریب تصحیح حلقه انتهایی.

طراحی نمونه

جریان بی باری:

با توجه به اطلاعات مغناطيس شوندگي در مورد طراحي فعلـي، جريـان مغناطيس كنندگي برابر است:

$$I_m = \frac{0/427 \times 4 \times 211/1}{920 \times 0/933} = 0/42 \quad A$$

طراحی نمونه

- کل تلفات آهني برابر ۱۰/٤ w مي باشد.
- تلفات اصطكاك و بـادخوري برابـر ۲/۵ درصـد خروجـي نـامي، يـا w ۵/۷۵ در نظر گرفته مي‌شود.
- تلفات بي باري كل ۱٦/۱۵ w است. مؤلفه تلفات جريان بي باري برابر است با:

$$I_p = \frac{16/15}{3 \times 232/4} = 0/023 \quad A$$

- و جريان بي باري تقريباً برابر ۰/٤۲ A است.

طراحی نمونه

راکتانس نشتی

- ضرایب هدایت مغناطیسي براي شیارهاي استاتور و روتـور بـه کمـك شکل ۳-A۳ تخمین زده مي شوند:

$$\lambda_{ss} = 1/25\mu_{\circ} \quad , \quad \lambda_{sr} = 1/85\mu_{\circ}$$

و راکتانس نشتي ناشي از شیارهاي استاتور برابر است با:

$$x_{ss} = \frac{8 \times \pi \times 50 \times 920^2 \times 0/058}{4 \times 2} \times 1/25\mu_{\circ} = 12/1 \quad \Omega$$

دانشگاه علم وصنعت ایران

طراحی نمونه

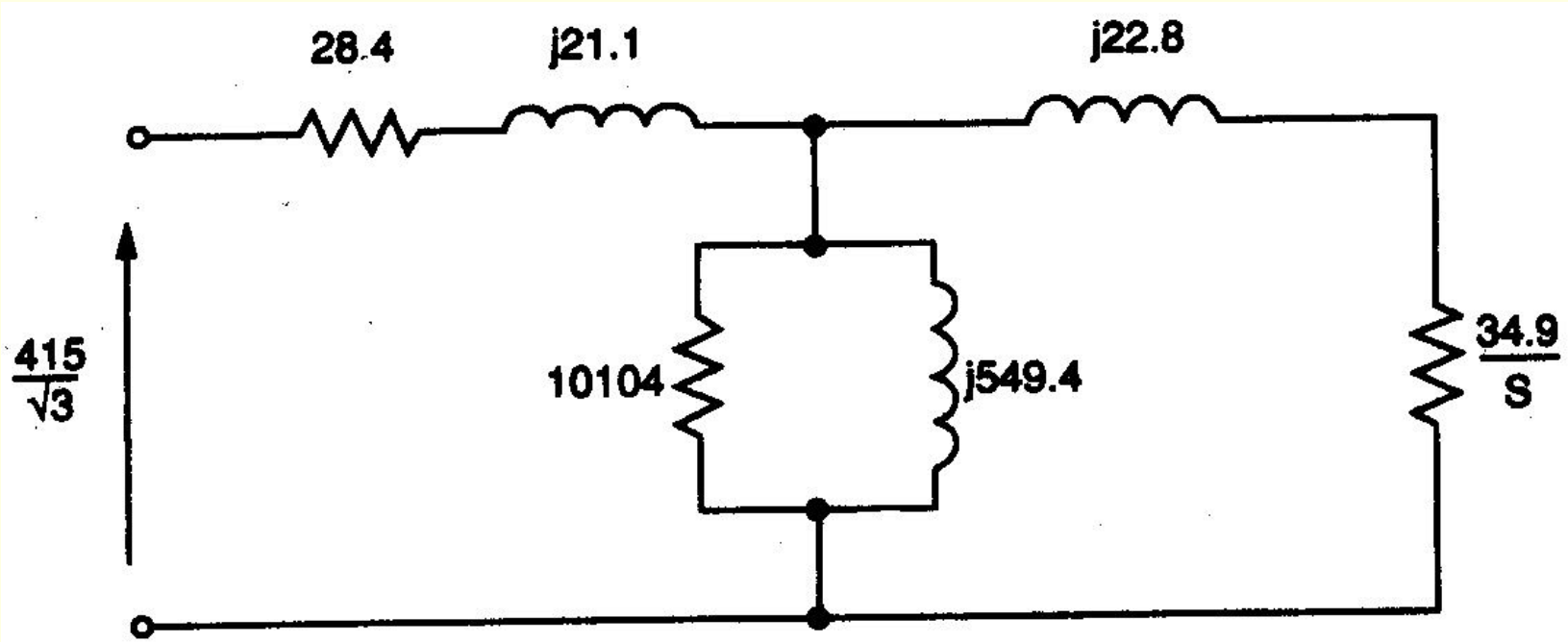
ضریب هدایت مغناطیسي شیار روتور ارجاع شده به طـرف اسـتاتور برابـر است با:

$$\lambda'_{sr} = 1/85\ \mu_{\circ}\ \frac{0/933^{2} \times 24}{1^{2} \times 17} = 2/27\ \mu_{\circ}$$

و راکتانس نشتي شیار روتور ارجاع شده به طرف استاتور برابر است با:

$$x'_{sr} = \frac{8 \times \pi \times 50 \times 920^{2} \times 0/058}{4 \times 2} \times 2/27\mu_{\circ} = 22\Omega$$

طراحی نمونه



شکل ۵-۱۴ مدار معادل یک موتور القایی ۲۵۰ W و ۱۳۸۰ rev/min.

دانشگاه علم وصنعت ایران

طراحی نمونه

مدار معادل را مي توان براي تعيين مشخصه هـاي کـاري موتـور مـورد استفاده قرار داد. با اين حال بايد به خاطر داشت که پارامترهاي مدار معادل بدون در نظر گرفتن اثر اشباع مغناطيسي بدسـت مـي آينـد. اين تقريب، دقت عملکرد را تحت تاثير قرار خواهد داد.

با اين حال، توان خروجي در لغـزش ۸ درصـد (يـا سـرعت rev/min ۱۳۸۰) حدود w ۳۲۵ خواهد بود. پـس از منظـور نمـودن اشـباع و تلفات سرگردان، توان خروجي احتمالاً نزديك w ۲۵۰ خواهد شد.

طراحی نمونه

جدول ۵-۴ داده های مغناطیس شوندگی

Section	B(T)	$B_{60}(T)$	Length (mm)	at/m	AT
Air- gap	0/51	0/69	0/349	$55/2\times10^4$	192/6
Stator teeth	1/23	1/67	13/00	280	3/6
Stator Core	1/28		- 23/6	250	5/9
Rotor teeth	1/34	1/82	7/9	1000	7/9
Rotor Core	0/9		- 7/0	160	1/1

طراحی نمونه

- **نمونه دوم طراحی**

طراحی یک موتور القایی سه فاز ۰/۷KW، ۱۱۴۰۰rev /min، V ۲۰۰، ۴۰۰Hz، جهت راه اندازی پمپ سوختی در یک هواپیما مورد نظر میباشد. موتور جهت حرکت به طور غوطه ور در سوخت هواپیما طراحی شده و راندمان و ضریب قدرت آن نباید به ترتیب از ۰/۷ و ۰/۸ کمتر باشند.

طراحی نمونه

- **ابعاد اصلی**

با توجه به محل کارکرد موتور، مي توان مقادير زياد بارگذاريهاي ويژه را مورد استفاده قرار داد. با اين حال، براي محدود نمودن جريان مغناطيس كنندگي به يك مقدار قابل قبول و بدست آوردن ضريب قدرت بالا بايد مقادير مناسب بارگذاري مغناطيسي ويژه را مورد استفاده قرار دهيم.

- مقادیر ویژه و خروجی :

$$B_{av} = 0.4T \quad , \quad ac = 40000$$ متر / آمپر هادی

$$Q = \frac{0/7}{0/7 \times 0/8} = 1/25 \quad \text{KVA}$$

طراحی نمونه

مقدار اولیه برای ضریب سیمپیچی برابر ۰/۹۵۵ در نظر گرفته می شود،

ضریب خروجی برابر است با:

$$C_{\circ} = 1/11\pi^2 \times 0/4 \times 40000 \times 0/955 \times 10^{-3} = 167/4$$

طبعا موتور داراي ٤ قطب بوده و سرعت سنکرون برابر است با rev/s

۲۰۰ حجم فعال برابر است با:

$$D^2L = \frac{1/25}{167/4 \times 200} = 3/734 \times 10^{-5} \quad m^3$$

طراحی نمونه

براي ضريب قدرت خوب، مقدار نسبت طول هسته به گام قطب بايد بين ۱ تا ۱/۵ باشد. براي موتورهاي ٤ قطب در صورتي كه D=L در نظر بگيريم، اين نسبت برابر ۱/۲۷ خواهد بود :

$$D = 33 \quad mm \qquad , \qquad L = 34 \quad mm$$

مهمترين معيار طراحي در اين مثال، هزينه نمي باشد و لذا مواد ورقه با تلفات كم را مورد استفاده قرار مي دهيم.

طراحی نمونه

- ضخامت ورقه ۳۵mm یا ۲۷mm خواهد بود و ضریب فشردگي ۰/۹۵ است.
- طول آهن خالص ۳۲/۳ mm بوده و گام قطب ۲۶mm مي باشد. بنابراين، شار در هر قطب برابر است با : .

$$\phi = 0.4 \times 0.0323 \times 0.026 = 0.335 \qquad mwb$$

emf القاء شده در هر فاز ۰/۹۷ برابر ولتاژ فاز ترمينال يا ۱۱۲V در نظر گرفته مي شود. تعداد دورهاي استاتور در هر فاز برابر است:

$$T_s = \frac{12}{4/44 \times 400 \times 3/348 \times 10^{-4} \times 0/955} = 197$$

طراحی نمونه

طراحی استاتور

- به علت قطر کوچک، برای هر قطب در هر فاز ۲ شیار را انتخاب می نمائیم. با q=2، تعداد شیارهای استاتور ۲۴ خواهد بود
- سیم پیچی حلقوی تک لایه مورد استفاده قرار گرفته و گام کلاف ۵ شیار است.
- مقدار متناظر ضریب توزیع سیم پیچي ۰/۹٦٦ مي باشد.
- سیم ضریب گام سیم پیچي ۰/۹٦٦ بوده و ضریب سیم پیچي استاتور برابر ۰/۹۳۳ مي باشد.

طراحی نمونه

حال، باید تعداد دورهای استاتور را جهت ایجاد تعداد صحیح هادیها در هر شیار تصحیح نمود:

- با ۵۰ هادی در هر شیار، دورهای لازم در هر فاز برابر ۲۰۰ خواهد بود.
- مقدار شار در هر قطب mwb ۰/۳۳۵ می شود
- چگالی شار متوسط فاصله هوایی تقریباً در T۰/۴ثابت باقی می ماند

دانشگاه علم وصنعت ایران

طراحی نمونه

جریان فاز استاتور برابر است با:

$$I_s = \frac{0/7 \times 10^3}{3 \times 115/4 \times 0/7 \times 0/8} = 3/6 \ \ A$$

میتوان چگالی جریان بسیار بالاتری نسبت به چگالی جریان به کار رفته در موتورهای خنک شده با هوا انجام دهیم.

طراحی نمونه

با فرض چگالی جریان استاتور برابر با ۲۰، سطح مقطع هادی برابر خواهد بود با:

$$a_s = \frac{3/6}{20} = 0/18 \ \ mm^2$$

- قطر هادی مورد نیاز ۰/۴۸mmمی باشد. بنابراین، سیم مسی استانداردی با قطر ۰/۵mmرا مورد استفاده قرار می دهیم که سطح مقطع آن ۰/۱۹۶mm2 است.
- حال چگالی جریان استاتور حدود ۱۸/۴ می باشد.

طراحی نمونه

طول دور متوسط سیم پیچ استاتور به به صورت زیر محاسبه مي شود:

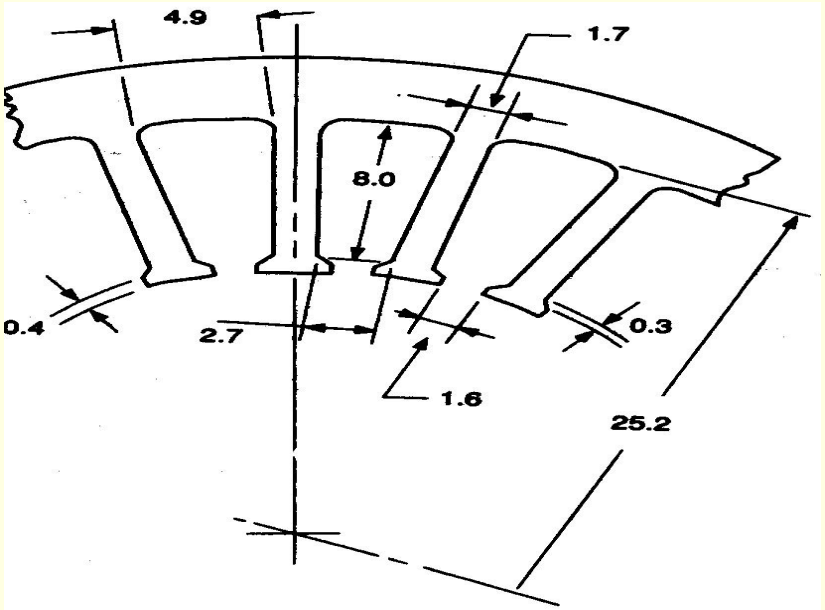
$$L_{mts} = 2 \times 34 + 2/3 \times 26 = 127/8 \quad mm$$

مقاومت استاتور برابر است:

$$r_s = \frac{1/8 \times 10^{-8} \times 200 \times 0/1278}{0/196 \times 10^{-6}} = 2/35 \quad \Omega$$

طراحی نمونه

- مساحت کل ۵۰ هادی حدود ۹/۸ و با مساحت شیار بین ۲۵ تا ۳۲ میلی متر مربع ضریب اشغال شیار بین ۰/۴ تا ۰/۳ را نتیجه می دهد. ورقه استاتور در شکل نشان داده شده و مساحت شیار ۳۰/۴ می باشد.



شکل ۵-۱۵ جزئیات ورقه استاتور

طراحی نمونه

- با مساحت شیار ۳۰/۴ ، ضریب اشغال ۰/۳۲۲ می باشد.

- چگالی شار دندانه های استاتور برابر است با:

$$B_{ts} = \frac{3/38 \times 10^{-4}}{6 \times 1/7 \times 10^{-3} \times 32/3 \times 10^{-3}} = 1/03 \ \ T$$

طراحی نمونه

- مقدار چگالی شار دندانه ۱/۰۳ قابل قبول می باشد.
- عمق هسته استاتور باید به نحوی باشد که چگالی هسته حدود T ۱/۵ شود ، بنابراین:

$$d_{cs} = \frac{3/38\times10^{-4}}{2\times1/5\times32/3\times10^{-3}} = 3/5\times10^{-3}\ \text{m} \quad \text{یا} \quad 3/5\ \text{mm}$$

قطر بیرونی استاتور mm ۵۷/۴ است.

دانشگاه علم وصنعت ایران

طراحی نمونه

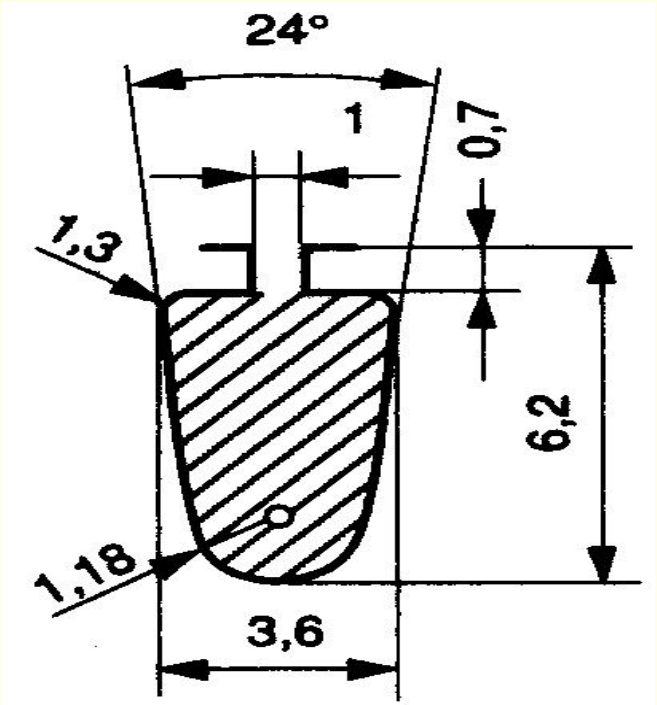
طول شعاعی فاصله هوایی برابر است با:

$$l_g = 3/06 - \frac{6560}{33 + 2280} = 0/22 \ \text{mm}$$

- قطر روتور ۳۲/۵۶mm می باشد.
- تعداد شیارهای روتور باید بین ۱۵ تا ۳۰ درصد بیشتر یا کمتر از تعداد شیارهای استاتور باشد.
- انتخاب ۱۵ شیار روتور، معیار بحث شده فوق در رابطه با هارمونیهای شیار را ایفا می کند.

طراحی نمونه

- شیار روتور در شکل نشان داده شده و پهنای دندانه ۲/۲mm می باشد.



شکل ۵-۱۶ ابعاد شیار روتور

طراحی نمونه

جریان میله روتور برابر است با:

$$I_b = \frac{2m_s K_{ws} T_s}{S_r} I_s \cos\phi = 215 \quad A$$

و چگالي جريان حدود ۱۴/۲ مي باشد.

جريان حلقه انتهايي برابر است با:

$$I_{er} = \frac{215 \times 15}{4\pi} = 267 \quad A$$

طراحی نمونه

چگالي شار در دندانه هاي روتور برابر است با:

$$B_{tr} = \frac{3/38\times10^{-4}}{\frac{15}{4}\times32/3\times10^{-3}\times2/2\times10^{-3}} = 1/27 \quad T$$

قطر محور ماشین ۱۰mm بوده و عمق هسته روتور ۵/۰۸mm است. چگالي شار در هسته روتور برابر است با:

$$B_{cr} = \frac{3/38\times10^{-4}}{2\times32/3\times10^{-3}\times5/08\times10^{-3}} = 1/03 \quad T$$

دانشگاه علم وصنعت ایران

طراحی نمونه

- قطرهاي بيروني و دروني حلقه را به ترتيب برابر ۳۱/۲و ۱۲میلیمتردر نظر میگیریم.
- ضريب تصحيح متناظر با اين مقادير ۱/۲۸ مي باشد.
- اندازه محوري حلقه انتهايي را نيز ۱۰mm در نظر مي گيريم.
- بنابراين، مساحت حلقه انتهايي ۹۶ ميليمتر مربع است.
- مقاومت روتور ارجاع شده به طرف استاتور برابر است با:

$$r_r' = 12\times 200^2\times 0/933^2\times 2/7\times 10^{-2}\left[\frac{0/034}{15\times 15/1}+\frac{2\times 0/0216\times 1/28}{\pi\times 16\times 96}\right]=1/82\ \Omega$$

طراحی نمونه

جریان بی باری:

اطلاعات مغناطیس شوندگي در جدول مربوطه خلاصه شده اند و جریان مغناطیس کنندگي برابر است با:

$$I_m = \frac{0/427 \times 4 \times 131/6}{200 \times 0/933} = 1/2 \quad A$$

(۳۳ درصد)

دانشگاه علم وصنعت ایران

طراحی نمونه

جدول 5-6 اطلاعات مغناطیس شوندگي

قسمت	B(T)	$B_g(T)$	طول (mm)	at/m	AT
فاصله هوایی	۰/۴۰	۰/۵۴۴	۰/۳۰۰	۴۳۲۹	۱۲۹/۹
دندانه استاتور	۰/۰۳	۱/۴۰	۸/۷۰	۲۳	۰/۲
هسته استاتور	۱/۵۰ –		۱۴/۱	۳۲	۰/۴۵
دندانه رتور	۱/۲۷	۱/۷۳	۶/۲	۱۶۰	۱
هسته روتور	۱/۰۳ –		۳/۹۵	۱۱	۰/۰۵

دانشگاه علم وصنعت ایران

طراحی نمونه

تلفات آهني در هسته و دندانه هاي استاتور در جدول داده شده است.

در صورت نداشتن نمونه مشخصه هاي تجربي، تلفـات اصـطكاك را مـي توان بين ٤ درصد تا ٨ درصد خروجي نامي در نظر گرفت.

جدول 5-7 تلفات آهني در دندانه ها و هسته

قسمت وزن	(kg)	$B_{max}(T)$	$P_1(W/kg)$ تلفات آهني	(W)
دندانه های استاتور	۰/۰ ۸۸	۱/۶۲۰	۳۷	۳/۲۵
هسته استاتور	۰/۱ ۵۰	۱/۳۵۰	۸۶/۵	۱۲/۹

طراحی نمونه

- با در نظر گرفتن تلفات اصطکاك برابر با ۵ درصد خروجي نامي يا ۳۵W، مولفه تلفات جريان بي باري برابر است با:

$$I_p = \frac{16.15 + 35}{3 \times 112} = 0.15 \quad A$$

و جريان بي باري تقريباً ۱/۲A مي باشد. مقاومت r_m كه معرف تلفات آهني، اصطكاك است، برابر است با:

$$r_m = \frac{112}{0/15} = 746 \quad \Omega$$

طراحی نمونه

راکتانس نشتی

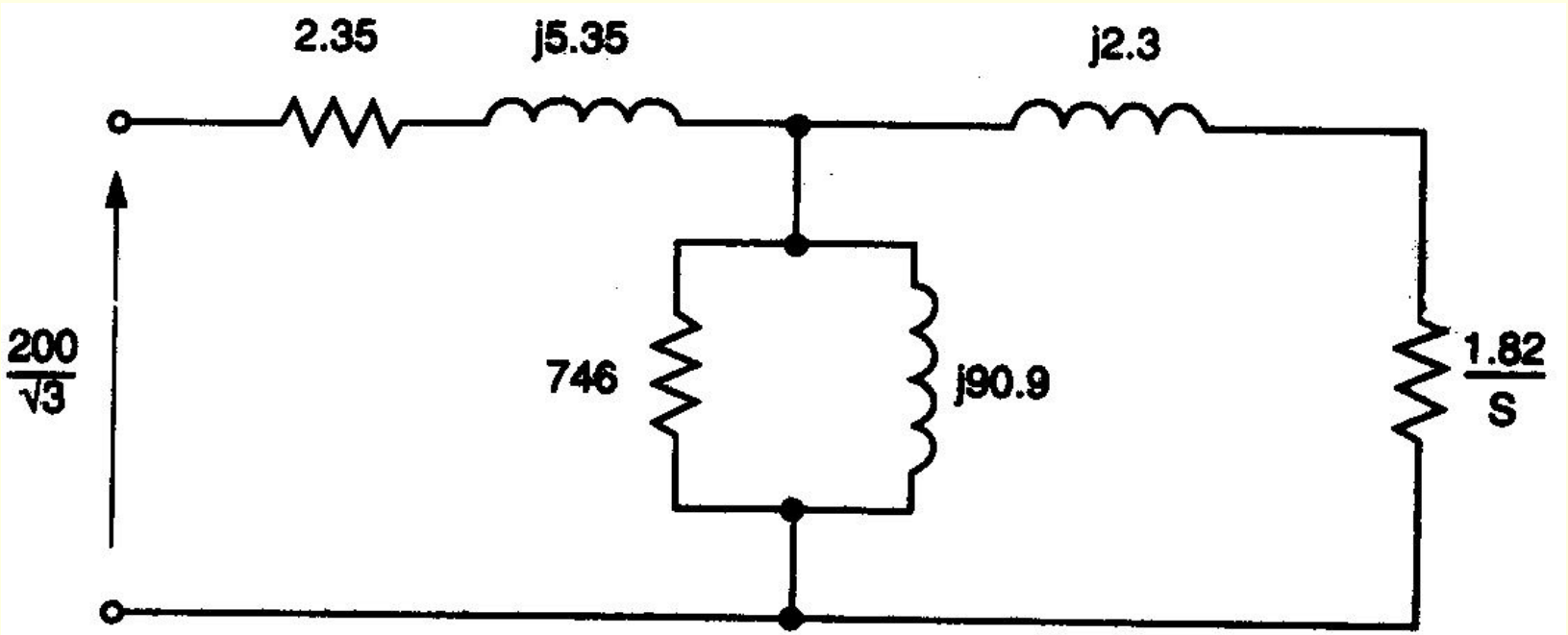
ضرایب هدایت مغناطیسي شیارهاي استاتور و روتور عبارتند از:

$$\lambda_{ss} = 1/25\,\mu_{\circ} \quad , \quad \lambda_{sr} = 0/75\,\mu_{\circ}$$

راکتانس نشتي شیار استاتور برابر است با:

$$x_{ss} = \frac{8 \times \pi \times 400 \times 200^2 \times 0/034}{4 \times 2} \times 1/25\mu_{\circ} = 2/68 \quad \Omega$$

طراحی نمونه



شکل ۵-۱۷ مدار معادل یک موتور القایی ۷۰۰W، ۱۱۴۰۰ rev/min.

دانشگاه علم وصنعت ایران