بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به

قطب عالم امکان، واسطه فیض زمین و آسمان، حضرت صاحب العصر و الزمان عجل

الله تعالی فرجه الشریف

و پدر و مادرم که همواره مشوق بنده در کسب علم و دانش بوده‌اند.

تشکر و قدردانی

حمد و ثنای خویش را نثار حضرت احدیت می نمایم که توفیق انجام این رساله را به حقیر عنایت نمود. سپس سلام و درود بی پایان حضرتش را بر رسول ختمی مرتبت و اهل بیت طاهرینش خواستارم. به رسم ادب و قدردانی بر خود واجب می‌دانم از استاد راهنمای ارجمند جناب آقای دکتر ایزدفر که راهنمایی‌هایشان در مسیر انجام این رساله، موثر و کارگشا بود، قدردانی نمایم. همچنین از استادان داور محترم جناب آقای دکتر علی نژاد و جناب آقای دکتر یعقوبی که مسئولیت داوری را بر عهده داشتند و رساله را به دقت مطالعه فرمودند سپاس ویژه دارم و از خداوند منان طول عمر همراه با عاقبت به خیری برای این بزرگواران مسئلت می‌نمایم. همچنین از اساتید معظم دانشگاه فردوسی جناب آقای دکتر عبادی و آقای دکتر عطاری و آقای دکتر کریم پور و خصوصا آقای دکتر یاوری و همچنین مهندس آریایی و مهندس لاری و مهندس باقرپور از پژوهشکده نیرو و مهندس ولی نژاد و مهندس یاسان فارغ التحصیل از دانشگاه شریف که در این مهم حقیر را یاری نمودند کمال تشکر و قدر دانی را دارم.

این رساله را تقدیم می‌کنم به تمام کسانی که در راه سربلندی و اعتلای مملکتم شب و روز از هیچ همتی مضایقه نمی‌کنند.

خاب الوافدون غیرک

چکیده

در این پایان نامه موتور سنکرون آهنربای دائم سرعت زیاد از نوع نصب شده بر سطح[1] بر روتور طراحی و بهینه سازی می‌گردد. این موتور در کاربرد خنک کننده توان 2 kw و سرعت 200000 rpm طراحی می‌شود.

روش تحلیلی برای طراحی ماشین آورده می شود و محدودیت‌های مکانیکی نظیر سرعت بحرانی، تنش وارده بر قسمت‌های مختلف روتور بررسی می‌شود.

پس از اینکه یاطاقان‌های مربوطه بررسی شد. نوسان محور روتور گرفته شد. به این نتیجه رسیدیم که می‌توان از یاطاقان هوایی بدین منظور استفاده گردد.

پس از طراحی موتور به منظور ارزیابی الکترومغناطیسی چگالی شار در فاصله هوایی و استاتور موتور گرفته شد و با فرمول‌های طراحی قیاس گردید. نتایج بیانگر اختلاف ناچیز آن با مقادیر طراحی بود. همچنین به منظور ارزیابی مکانیکی تنش‌های مماسی و شعاعی در قسمت‌های مختلف گرفته شد. نتایج آن بیانگر این بود که ماشین ما تحمل تنش‌های وارده را دارد.

کلید واژه

تلفات بادخوری، طراحی و بهینه سازی، ماشین سنکرون آهنربای دائم، ماشین شار محوری و شار شعاعی، ماسوره نگهدارنده، موتور سرعت زیاد، یاطاقان مغناطیسی اکتیو

[1] Surface mounted permanent magnet synchronous motor (SMPM)

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

فصل اول : مقدمه

۱-۱- معرفی پایان نامه ۳

۱-۲- تحقیات قبلی ۳

فصل دوم : معرفی ماشین سرعت زیاد

۲-۱- معرفی ماشین سرعت زیاد ۵

۲-۲- کاربرد و مزیت ماشین‌های سرعت زیاد ۶

۲-۳- نمونه‌هایی از ماشین سرعت زیاد ویژگی‌ها و شرکت‌های سازنده ۶

۲-۳-۱- میکروتوربین ۶

۲-۳-۲- کمپرسور ۸

۲-۳-۳-ژنراتورهای هواپیما ۱۰

۲-۳-۴-ژنراتورهای چند مگا واتی سرعت زیاد ۱۴

۱) سلاح‌های هدایت شونده ۱۴

۲) رادار هوابرد ۱۶

۲-۴- مقایسه روش‌های خنک سازی ماشین‌های الکتریکی سرعت زیاد ۱۷

۲-۴-۱- سیستم خنک ساز ژنراتور هوابرد مگاواتی سرعت زیاد ۱۸

۲-۵- نیازمندی‌های طراحی ماشین سرعت ۲۱

۲-۶- محدودیت‌های طراحی ماشین‌های الکتریکی ۲۱

۲-۶-۱- محدودیت‌های مکانیکی ۲۲

۲-۶-۲- محدودیت‌های حرارتی ۲۲

۲-۶-۳- محدودیت الکترومغناطیسی ۲۳

۲-۷- انواع ماشین‌های الکتریکی سرعت زیاد ۲۴

۲-۷-۲- ۱- موتور القایی روتور قفسه ای ۲۴

۲-۷-۲- ۲- ماشین القایی با روتورهای یکپارچه ۳۰

۲-۸- مواد مغناطیسی ۳۵

۲-۸-۱- آهنربای دائم ۳۵

۲-۹-۲- ماشین آهنربای دائم از نوع داخلی ۳۷

۲-۸-۲-آهنربای ساماریم کبالت ۳۸

۲-۸-۳- آهنربای نئودمیم آهن برم ۳۹

۲-۹- ماشین سنکرون PM شار شعاعی ۴۰

۲-۹-۱- ماشین آهنربای دائم از نوع نصب شده بر روی سطح ۴۱

۲-۹-۳- ماشین آهنربای دائم از نوع دفن شده ۴۱

۲-۱۰- ماشین PM شار محوری ۴۲

۲-۱۱- بانداژ ۴۳

۲-۱۱-۱- ضخامت حداقل بانداژ ۴۴

فصل سوم : یاطاقان ماشین سرعت زیاد ۴۶

۳-۱- یاطاقان‌های مکانیکی ۴۷

۳-۲- یاطاقان هوایی ۴۸
۳-۳- یاطاقان‌های مغناطیسی اکتیو ۵۰
فصل چهارم :
۴-۱- طراحی تحلیلی موتور SMPM ۵۲
۴-۲- ملاحظات ساخت و انواع ماشین ۵۴
۴-۳- روند طراحی ۵۵
۴-۳-۱- پارامترهای اولیه ۵۵
۴-۳-۲- ابعاد مکانیکی ۵۸
۴-۳-۳- سیم پیچی ۶۳
طراحی PMSM سرعت زیاد برودتی
۴-۴-۱-مقدمه ۶۴
۴-۴-۲- انتخاب نوع موتور ۶۴
۴-۴-۲-۲- PMSM شار محوری یا شار شعاعی ۶۵
۴-۴-۲-۳ استاتور بدون شیار یا شیاردار ۶۵
۴-۴-۲-۴ ساختار روتور ۶۶
۴-۴-۲-۵ ساختار موتور طراحی شده ۶۶
۴-۴-۳-انتخاب ماده ۶۷
۴-۴-۳-۱- آهنربای دائم ۶۷
۴-۴-۳-۲- سیم پیچی ۶۸
۴-۴-۳-۳- استاتور ۶۸
۴-۴-۳-۴- یاطاقان‌ها ۶۸

۴-۳-۴-۵- محور ماشین ۶۸
۴-۴-۴- ساختار روتور ۶۸
۴-۴-۵-بررسی فرکانس طبیعی موتور ۶۹
۴-۴-۶- بررسی تنش مکانیکی وارده بر روتور ۷۰
۴-۴-۷-طراحی الکترومغناطیسی ۷۳
۴-۴-۷-۱- معادلات ماکسول ۷۳
۴-۴-۸- میدان آهنربای دائم ۷۷
۴-۴-۸-۱-محاسبه میدان آهنربای دائم ۷۷
۴-۴-۹- محاسبات مربوط به ابعاد موتور ۸۹
۴-۴-۱۰- بهینه سازی ۹۴
۴-۴-۱۰-۱- الگوریتم ژنتیک ۹۵
۴-۴-۱۰-۲-تابع هدف و قیود ۹۵
فصل پنجم : نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات
۵-۱- نتیجه گیری ۹۱
۵-۲- پیشنهادات ۹۲

فهرست اشکال

شکل ..... صفحه

شکل ۲-۱: اجزاء اصلی میکروتوربین گازی. ۷

شکل ۲-۲: فشارنده سرعت زیاد با موتور PM بدون جاروبک ۹

شکل ۲-۳: SRM هوای کمپرسور های هوای سرعت زیاد ۹

شکل ۲-۴: ژنراتورهای هواپیمای مسافرتی ۱۰

شکل ۲-۵: ژنراتورهای چرخاننده موتور و ژنراتورهای موتور توربوفن ۱۱

شکل ۲-۶: موقعیت APU روی بوئینگ ۱۱

شکل ۲-۷: واحد کمکی توان APU بوئینگ ۱۲

شکل ۲-۸: توربین هوا RAT ۱۲

شکل ۲-۹: نمودار توان خروجی متوسط بر حسب فرکانس لامپ های موج سیار پیشرفته ۱۷

شکل ۲-۱۰: سیم پیچی روتور ژنراتور هوابرد IPS ۱۹

شکل ۲-۱۱: ساختمان سیم پیچی و قطب های روتور ۱۹

شکل ۲-۱۲: روتور یک ژنراتور یک مگا واتی IPS، با سیستم خنک کننده ۲۰

شکل ۲-۱۳: ماشین الکتریکی سرعت زیاد با یاطاقان مغناطیسی ۲۱

شکل ۲-۱۴ روتور قفسه ای ماشین الکتریکی سرعت زیاد: مولد القایی با توان kw ۴۵ و سرعت krpm ۹۲ SatCon, MA, U.S.A ۲۵

شکل ۲-۱۵ روتور قفسه ای ماشین سرعت زیاد: بخشی از روتور موتور القایی با توان kw ۸۳/۵ و سرعت SatCon, MA, U.S.A۱۰۰ krpm ۲۶

شکل ۲-۱۶ روتور سرعت زیاد با میله های مسی، حلقه های انتهایی دوبل و هسته مورق ۲۶

شکل ۲-۱۷ ساختار سیم پیچی قفس موتور سرعت زیاد ۲۷

شکل ۲-۱۸ حلقه انتهایی BeCu با اتصالات یک پارچه برآمده ۲۷

شکل ۲-۱۹ حلقه های انتهایی کامل شده که به میله لحیم شده‌اند ۲۸

شکل ۲-۲۰ روتور موتور القایی تکمیل شده۲MW ۱۵۰۰۰ rpm. ۲۸

شکل ۲-۲۱ سیم پیچی روتور قفسی سرعت زیاد. ۳۰

شکل ۲-۲۲ منحنی مغناطیسی فولادهای یکپارچه مختلف ۳۱

شکل ۲-۲۳ روتور یکپارچه با ماسوره مسی جوش خورده منفجر شونده ۳۲

شکل ۲-۲۴ روتور توپر پوشیده شده با لایه مسی برای ماشین های الکتریکی سرعت زیاد ۳۲

شکل ۲-۲۵ ساختار ماشین PM سرعت زیاد ۳۴

شکل ۲-۲۶ مقطع عرضی یک روتور PM سرعت زیاد نوعی ۳۴

شکل ۲-۲۷ تاریخچه توسعه مواد آهنربای دائم ۳۶

شکل ۲-۲۸ شماتیک منحنی B-H و H_{CJ} و H_C یک ماده مغناطیسی ۳۷

شکل ۲-۲۹ : در ماشین های شار شعاعی، شار از طریق فاصله هوایی در جهت شعاعی می‌چرخد و جریان در جهت محوری سیلان دارد ۳۹

شکل ۲-۳۰ سطح مقطع عرضی یک ربع روتور ۸ قطب با آهنربای نصب شده بر روی سطح. ۴۰

شکل ۲-۳۱ سطح مقطع عرضی یک ربع روتور ۸ قطب با آهنربای نصب شده در داخل ۴۱

شکل ۲-۳۲ سطح مقطع عرضی یک ربع روتور ۸ قطب با آهنربای دفن شده ۴۲

شکل ۲-۳۳ : در ماشین های شار شعاعی، شار از طریق فاصله هوایی در جهت شعاعی می‌چرخد و جریان در جهت محوری سیلان دارد ۴۲

شکل ۲-۳۴- سطح مقطع عرضی یک ربع روتور ۴ قطب با بانداژ ۴۳

شکل۳-۱: یاطاقان هیبرید سرامیک ۴۸

شکل۳-۲- فاصله هوایی خیلی کوچک (در مرتبه ده میکرومتر)، یاطاقان هوایی، دقت خیلی بالای این یاطاقان ها، منجر به استفاده آنها در ماشین های دقیق شده است ۴۹

شکل۳-۳یاطاقان مغناطیسی اکتیو ۵۰

شکل۴-۱-فلو چارت بهینه سازی ماشین ۵۳

شکل۴-۲: سطح مقطع موتور دو قطب بدون شیار شار شعاعی با آهنربای دائم گرد ۶۰

شکل ۴-۳:شماتیکی از ماشین طراحی شده ۶۶

شکل ۴-4: تنش در شفت و آهنربای دائم ۷۵

شکل ۴-۵: تنش میزز در شفت و آهنربای دائم ۷۵

شکل ۴-۶: تنش شعاعی در شفت و آهنربای دائم ۷۶

شکل ۴-۷: تنش مماسی در شفت و آهنربای دائم ۷۶

شکل ۴-8-جابجایی روتور بر حسب شعاع نرمال شده. ۷۷

شکل ۴-9:مدل هندسی ماشین ۸۲

شکل ۴-10: موتور و خطوط شار آن ۸۵

شکل ۴-11:اندازه چگالی شار برای طراحی ماشین در فاصله هوایی ۰/۵ تسلا در نظر گرفته شد و حال آنکه در شکل ۵۰۵/. تسلا بدست آمد. ۸۶

شکل ۴-12: بردار چگالی شار ماشین طراحی شده که در فاصله هوایی در راستای محور عمود بیشترین مقدار و در جهت راستای محور افقی کمینه است ۸۷

شکل ۴-13:چگالی شار بر روی آهنربا ۸۷

شکل ۴-۱۴: چگالی شار بر روی روتور ۸۷

شکل ۴-۱۵:چگالی شار درون استاتور دارای پیکی بیش از مقدار ثابت آهنربا است که توجیه آن آمد۸۹

شکل ۴-۱۶:چگالی شار بر روی مرز ۸۹

شکل4-17: فلوچارت طراحی ماشین ۹۳

فهرست جداول

جدول.....صفحه

جدول ۱-۱: روش های منتخب برای انتقال حرارت در ماشین های الکتریکی سرعت زیاد..... ۱۸
جدول ۳-۱- فواید و مضرات انواع یاطاقان ها ۵۱
جدول ۴-۱: نیازمندی های طراحی موتور سرعت زیاد ۶۴
جدول۴-۲: ابعاد اساسی موتور ۶۷
جدول ۴-۳: خصوصیات آهنربای دائم ۷۰
جدول ۴-۴: خصوصیات تیتانیوم ۷۱
جدول ۴-۵: معادله الکترومغناطیسی حاکم برای قسمت های مختلف ماشین به علت میدان PM ۸۳
جدول ۴-۶: شرایط مرزی با استفاده از قوانین پایستگی شار و آمپر به علت میدان آهنربای دائم ۸۵
جدول۴-۷: ویژگی های ساماریم کبالت ۹۰

فصل اول

مقدمه

یک ماشین الکتریکی از جهت الکتریکی، مکانیکی و حرارتی، ساختاری پیچیده دارد. هر چند موتورهای الکتریکی برای حدود صد سال، کاربردهای صنعتی گسترده‌ای دارند، ولی تحقیقات و بررسی بر روی این ماشین‌ها هرگز تمام نمی شود. عموما تولید الکتریسیته به وسیله ماشین‌های سنکرون صورت می‌گیرد. در حالی که ماشین های القایی عموما در مصارف صنعتی به کار می‌روند.

اخیرا بیشتر تحقیقات بر روی ماشین‌های سرعت زیاد، فوق سرعت زیاد[1] و سرعت‌های خیلی زیاد[2] برای کاربردهایی چون کمپرسورهای گریز از مرکز، پمپ‌های خلا، سیستم‌های ذخیره انرژی و درایوهای سرعت زیاد صورت گرفته است. علت اقبال زیاد به این نوع ماشین‌ها اندازه کوچک و وزن خیلی کمتر آن نسبت به ماشین‌های سنتی می باشد. با توان ثابت، در سرعت‌های بالا، اندازه ماشین کاهش می‌یابد. حجم ماشین V، با توان نامی آن (P_{out}) رابطه مستقیم و با سرعت زاویه‌ای روتور (ω_r) و چگالی جریان فاز (j) و چگالی شار فاصله هوایی (B_g) رابطه معکوس دارد. مطابق رابطه زیر:

$$V \propto \frac{P_{out}}{JB_g\omega_r} \qquad (1-1)$$

با افزایش چگالی شار فاصله هوایی، سرعت زاویه‌ای و چگالی جریان فاز، چگالی توان افزایش می‌یابد. هر چند که افزایش چگالی شار و چگالی جریان، منجر به اشباع شار مغناطیسی و تلفات مسی می‌شود. چگالی جریان را می‌توان با استفاده از مواد ابر رسانا افزایش داد. لیکن در حال حاضر این مواد خیلی گران بوده، برای ماشین‌های با توان کم مناسب نمی‌باشد. بنابراین راهکار مناسب برای افزایش چگالی توان، افزایش سرعت روتور است. لذا فاز تئوری طراحی این نوع ماشین‌ها بررسی می‌گردد.

آهنربای دائم در ماشین‌های الکتریکی از زمان‌های گذشته به کار می‌رود. اما به علت کم انرژی بودن مواد فریت استفاده شده در آن زمان، استفاده از آن محدود به ماشین‌های کم توان می‌شد. تولید مواد آهنربای دائم با توان بالا در دهه ی ۷۰ میلادی توسعه یافت. این موضوع توسعه در ماشین سنکرون آهنربای دائم

[1] Super high speed
[2] Ultra high speed

را آغاز نمود. در مقاصد صنعتی این ماشین‌ها، بازده بالا و کنترل دقیق مورد نیاز می‌باشد. برای درایوهای سرعت متغیر، یک موتور آهنربای دائم و مبدل فرکانسی مورد نیاز است. ماشین سنکرون آهنربای دائم[1](PMSM) ماشین سنکرونی است که به جای سیم پیچی تحریک، از آهنربای دائم استفاده می‌گردد. بنابراین تلفات مسی روتور حذف می‌گردد. هر چند که این موضوع بازدهی را بهبود می‌بخشد لیکن دمای عملکرد ماشین را پایین می‌آورد.

۱-1- معرفی پایان نامه

موضوع این پایان نامه، طراحی موتور سنکرون سرعت بالای آهنربا دائم است. برای شبیه سازی و ارزیابی عملکرد از دو نرم افزار اجزای محدود و آباکوس صورت می گیرد. هدف از این پروژه، طراحی یک PMSM سرعت زیاد و بهینه سازی آن است. لذا فصل اول تحقیقات صورت گرفته در این زمینه و فصل دوم، به معرفی این ماشین، انواع آن، خنک کننده‌های آن، می‌پردازد. در فصل سوم به یاطاقان‌های مکانیکی و هیدرولیکی ماشین‌های سرعت بالا معرفی می‌شود. در فصل چهارم، فرمول‌های مورد نیاز برای طراحی هندسی و مکانیکی بیان می‌شود. فصل آخر پیشنهادات و نتیجه گیری لازم این ماشین را بیان می‌دارد.

۱-2- تحقیقات قبلی

[1] تعداد فازها را به چند بخش تقسیم می‌کند تا تلفات روتور، کاهش یابد. لذا در عمل ماشین سه فاز را به نه فاز تبدیل نموده است.

در[2] مدل طراحی تحلیلی ژنراتور و مدل الکتریکال سیستم یکسوساز ماشین، روشی برای طراحی ژنراتور dc سرعت زیاد (۱۸۰۰۰ rpm)، با ماشین pm بدون شیار با بار یکسو شده کنترل شده تبیین شده است.

در[3] به ماشین سرعت بالای ۱۰ قطب ۱۲ شیار، ۲۰۰۰۰ دور در دقیقه، توان ۱۲۳کیلووات پرداخته می‌شود که برای مقاصد وسیله نقلیه هیبرید مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیان می‌شود که این موتور بر تنش‌های وارده بر آن فائق می‌گردد.

[1] Permanent magnet synchronous motor (PMSM)

جناب ناگورنی، فلای ویل سرعت زیاد آهنربای دائم را طراحی می‌کند. این ماشین در دو حالت موتوری و ژنراتوری کار می‌کند. همچنین به بیان توپولوژی‌های مختلف روتور و هارمونیک هرکدام و توان خروجی هر یک می‌پردازد[4].

بیانوجی و یوگاله، موتور سنکرون آهنربای دائمی را طراحی می‌کنند که در حالت راه اندازی به صورت موتور القایی و در حالت مانا به صورت سنکرون، عمل می‌کند. این موضوع منجر به پیچیدگی روتور می‌شود[5].

[6] مدلی برای شبیه سازی ژنراتور سنکرون سرعت زیاد است. ویژگی این کار، در نظرگرفتن شار نشتی و حالت بارداری و بی باری می‌باشد.

[7] موتور کشنده‌ای آهنربای دائم سرعت زیاد است که در آن فاصله هوایی غیر یکنواخت منجر به ولتاژ القایی سینوسی می‌شود. پس از بررسی آنالیز حرارتی و مکانیکی در مرحله ساخت و تست قرار می‌گیرد.

فیو و بی به اثر جهت مغناطیس شوندگی آهنربای دائم بر روی ولتاژ القایی، گشتاورگیر، نوسان گشتاور و گشتاور می‌پردازند[8].

آقای فیستر موتور آهنربای دائم سرعت زیاد را طراحی می‌کند. به تلفات بادخوری و یاطاقان نیز می‌پردازد[9].

مدل موتور آهنربای دائم سرعت زیاد که میدان‌های مغناطیسی، تنش مکانیکی روتور، تلفات بادخوری و یاطاقان را در نظر می‌گیرد در مرجع [11,10] وجود دارد.

معادلات لازم برای بدست آوردن پارامترهای ماشین سرعت زیاد به وسیله [12] ارائه می‌شود.

در[13] به سرعت زیاد و مشکلات زیاد تنش و فرکانس طبیعی در آن سرعت، مدلسازی الکترومغناطیسی ماشین بدون شیار آهنربای دائم، نامتعادلی، معادلات مربوط به توان، ولتاژ، اندوکتانس و تلفات ماشین می‌پردازد. همچنین در آن به بررسی تنش موتور پرداخته می‌گردد.

در[14] به بررسی مشکل نگهدارنده آهنربای دائم می‌پردازد و به ساختاری جدید از ماشین از نوع آهنربای داخلی می‌پردازد که نیازی به نگهدارنده ندارد.

بررسی اختلاف دو ماشین بدون شیار و شیاردار سرعت بالا را می‌توان در [15,16] نظاره نمود.

بعضی از مقالات به این موضوع اشاره کرده‌اند که PMSM از نوع نصب شده بر روی سطح به علت آسانی مدار مغناطیسی و کنترل راحت استفاده می‌گردد. در این موتور از ماسوره یا غلاف (یک فلز غیر مغناطیسی است) برای حفظ یکپارچگی روتور در سرعت‌های بالا استفاده می‌شود. به علت فاصله هوایی بزرگ نیاز به PM بزرگتری است. همچنین تلفات گردابی بیشتر می‌شود. IPMSM[1] ها برخی از مشکلات فوق را ندارد. در مقابل، پیچیدگی الکتریکی و مکانیکی روتور را به دنبال دارد[17].

برخی از فواید استاتور شیاردار نسبت به بدون شیار عبارتند از: ۱- اندازه کوچکتر ۲- مدیریت حرارتی بهتر (هادی‌ها در ارتباط با هسته استاتور است لذا انتقال حرارتی بهتری دارد.) ۳- ساختار مقاوم‌تر:هادی‌ها معلق در بین استاور و روتور قرار ندارند[18].

[1] Interior Permanent magnet synchronous motor

فصل دوم

ماشین سرعت زیاد

۲-۱- معرفی ماشین سرعت زیاد

ماشین‌های الکتریکی معمول‌ترین ماشین‌های مورد استفاده در زندگی روزمره بشر بوده، تعداد آن‌ها با پیشرفت علوم مهندسی و فن آوری، افزایش می‌یابد. ماشین‌های الکتریکی در یک بازه وسیع از میلی وات (میکرو ماشین)، تا قدرت 1/7 مگاوات (توربوژنراتورهای ۴ قطب که با آب و هیدروژن خنک می‌شوند) مورد استفاده هستند.

در این فصل، ماشین سرعت زیاد و کاربردهای آن، توان‌های نامی و سازندگان، انواع و محدودیت‌های ساخت آن، تئوری اساسی مواد مغناطیسی و مواد آهنربای دائم مرسوم معرفی می‌گردد. مفاهیم مختلف ماشین سنکرون آهنربای دائم شار شعاعی بررسی می‌شود. مواد مختلف بانداژ معرفی می‌شود و همچنین تئوری مربوط به بانداژ بررسی می‌گردد.

اخیراً ساختار جدید موتورهای گشتاور زیاد، سرعت زیاد گسترش یافته است. علت این امر، پیشرفت در فن آوری ماشین‌های الکتریکی، شامل پیشرفت در مواد، ورود الکترونیک قدرت و... می‌باشد.

سوالی که مطرح می‌شود این است که ماشین چه سرعتی داشته باشد تا بدان سرعت زیاد اطلاق گردد؟ ماشین‌های الکتریکی برای بازه‌های مختلفی از سرعت وجود دارند. هر چند که اطلاق سرعت زیاد برای یک نوع ممکن است برای نوع دیگر سرعت کم اطلاق گردد. برای مثال موتور پله‌ای که برای ماشین های سنکرون آهنربای دائم، کم سرعت شمرده می‌شود. به طور خلاصه در حقیقت توضیح شفافی برای سرعت زیاد وجود ندارد. به طور کلی، زمانی یک ماشین سرعت زیاد در نظر گرفته می‌شود که در طراحی آن نسبت به ماشین‌های رایج، از جهت الکتریکی و مکانیکی تعدیلاتی صورت بگیرد تا به محدوده مناسبی از سرعت برسد.

۲-۲- کاربرد و مزیت ماشین‌های سرعت زیاد

اخیراً علاقه به موتورهای سرعت زیاد برای فشارنده‌ها، موتورها برای پمپ‌ها (تلمبه)، موتورها برای مته‌ها (دریل)، مولدهای سرعت زیاد، راه اندازهای الکتریکی برای توربو-ژنراتورهای بزرگ، ترمزها و اتصالات جریان گردابی و ... شدت یافته است. گرایش به بهبود انواع دیگر ماشین‌های الکتریکی مانند: ماشین‌های با روتور ساخته شده از گرد مغناطیسی نرم (مرکب) (مگنتو دی الکتریک و دی الکترو مگنتیک‌ها)، حفاظت اتصالات انتهایی (پیشانی) توربوژنراتورهای بزرگ، حفاظت ماشین‌های ابر رسانا، ماسوره نگهدارنده برای ماشین‌های آهنربای دائمی سرعت بالا و تلفات در آهنربای دائمی، تحقیقات را برانگیخت.

سرعت ماشین‌های ac با افزایش فرکانس ورودی افزایش می‌یابد. جریان آرمیچر با فرکانس بالا، ابعاد ماشین‌های الکتریکی را کاهش می‌دهد. ماشین‌های الکتریکی سرعت زیاد بدون چرخ دنده، کاربردهای زیادی در پمپ‌ها، کمپرسورهای گاز، چیلرهای بزرگ، سانتری فیوژها، ذخیره انرژی فلای ویل، واحدهای تولید پراکنده (میکروتوربین ها)، وسائل حفاری و مولدهای هواپیما دارند.

حذف چرخ دنده، بازده سیستم را بالا می‌برد و ابعاد و نویز را کم و ساخت و نگهداری را ساده‌می کند. البته کاهش حجم می‌تواند چگالی تلفات را بیشتر و خنک کنندگی ماشین را سخت کند. موتورهای القایی قفسی، ماشین‌های سنکرون سیم پیچی شده و ماشین‌های آهنربای دائم با ماسوره‌های نگهدارنده، اقتصادی‌ترین نامزد موارد استعمال سرعت بالا است.

ماموریت‌های هوابرد، به سیستم‌های چند مگاواتی سبک وزن مانند سلاح‌های هدایت شونده[1] (DEW) و رادار هوابرد[2] نیاز دارند. سیستم‌های هوابرد جدید پر قدرت و نظامی متحرک، نیاز به ۱ تا ۶ مگا وات توان الکتریکی در سرعت krpm ۱۵ دارند. مولدهای سنکرون با روتور فوق هادی گرم یا تمام مولدهای با سیستم خنک کننده (ماشین‌های سنکرون یا تک قطبی) نامزد بالقوه می‌باشند.

[1] Directed energy weapon
[2] Airborne radar

۲-۳- نمونه‌هایی از ماشین سرعت زیاد ویژگی‌ها و شرکت‌های سازنده

۲-۳-۱- مولدهای تولید پراکنده

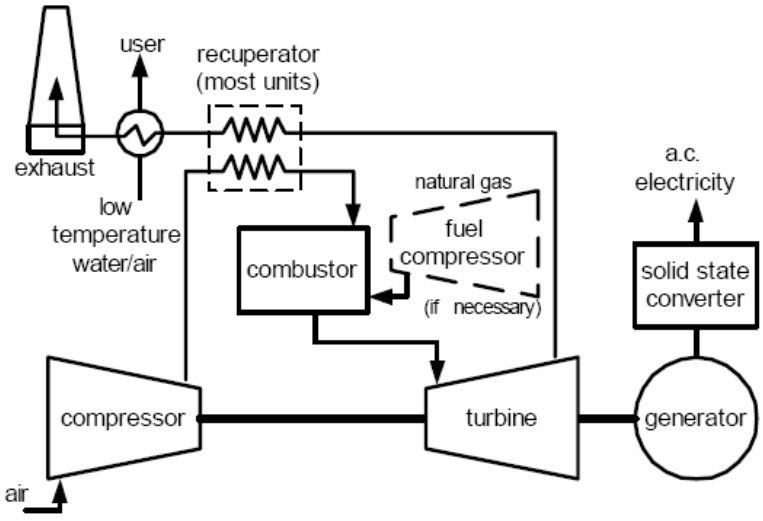
این مولدها باید دارای ویژگی‌های زیر باشند.

طراحی بدون جاروبک، حداقل تعداد اجزاء، حجم کم، چگالی قدرت بالا (نسبت توان به حجم بالا یا توان به جرم زیاد)، بازده زیاد و قیمت پایین

سیال‌های خنک کننده میکروتوربین‌ها عبارتند از: هوا، ماده خنک کن، روغن و آب

مایع خنک کن یعنی آب و روغن به داخل پوشش استاتور یا داخل هادی‌های خالی استاتور پمپ (سیستم خنک کن مستقیم) و به وسیله مبدل حرارتی خنک می‌شود. هادی‌های توخالی و سیستم خنک کن مستقیم برای مولدهای زیر ۲۰۰ کیلو وات، خیلی گران است.

اجزاء اصلی میکرو توربین‌ها عبارتند از: فشارنده (کمپرسور) توربین، محفظه احتراق، بازیاب حرارت، مولد و مبدل حالت جامد (الکترونیکی) که توان الکتریکی ۵۰ یا ۶۰ هرتز، فراهم می‌کند.



شکل ۲-۱: اجزاء اصلی میکروتوربین گازی[4]

مطابق شکل، ابتدا هوا وارد کمپرسور و از آنجا وارد محفظه احتراق شده، باعث چرخیدن توربین و نتیجتاً ژنراتور می‌شود. در صورت لزوم علاوه بر هوا، گاز طبیعی نیز وارد محفظه احتراق می‌شود.

اکثر میکروتوربین‌های رایج، گاز طبیعی می‌سوزانند. چگالی و فشار هوای بیرون در فشارنده افزایش می‌یابد. سپس هوای فشرده و سوخت وارد محفظه احتراق فرستاده می‌شود. در این محفظه حرارت زیاد و گازهای خروجی پر فشار تولید می‌شود. گاز خروجی، از طریق مجموعه پره‌های توربین و یک محور بلند، ژنراتور را با سرعت زیادی می‌چرخاند.

بسیاری از میکروتوربین‌های کوچکتر، از سوخت دیزل، بنزین یا سوخت‌های فسیلی دیگر، غیر از گاز استفاده می‌کنند. در این میکروتوربین‌ها، نیازی به فشارنده نیست چون سوخت، به محفظه احتراق[1] پاشیده می‌شود.

برخی میکروتوربین‌ها، حتی قابلیت تولید برق از حرارت گازهای خروجی دارند. حرارت، آب را جوش می‌آورد و بخار حاصله، از مجموعه پره‌های[2] ثانویه توربین عبور می‌کند و ژنراتور الکتریکی دوم، را می‌چرخاند. این سیستم‌ها خیلی بزرگتر و گرانتر هستند و بازده و کارآیی بیشتری دارند. به جای آب، می‌توان از ماده آلی استفاده نمود که وارد توربین می‌شود و انبساط می‌یابد و با چرخاندن پره‌های روتور، کار انجام می‌دهد.

علیرغم دمای بهره برداری کمتر میکروتوربین‌ها نسبت به توربین‌های احتراقی، انرژی را با بازده‌ای بین ۲۵٪ تا ۳۰٪ تولید می‌کنند.

۲-۳-۲- کمپرسور

شکل ۲-۲، کمپرسور (فشارنده) سرعت زیاد با موتور آهنربای دائمی بدون جاروبک، را شامل ترکیب اصلی زیر نشان می‌دهد.

فشرده سازی گریز از مرکز دو طبقه

[1] Combustion chamber
[2] Blade