



دانشگاه شهردی



دانشگاه شهردی



شركت دانش بنیان و مجری فناوری های ساخت
تجهیزات صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

به نام خداوند بخشنده و مهربان

گزارش فرصت مطالعاتی پاره وقت شش ماهه
در شرکت دانش بنیان کاوش صنعت توس

ارائه دهنده: حسین ابوترابی زارچی

خردادماه ۱۴۰۳

تاریخ: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰

شماره نامه: ۷۹۲۰

پیوست: دارد

جناب آقای مهندس مهدی حسین زاده

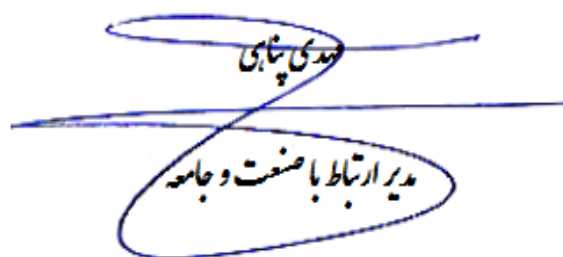
رئیس محترم هیئت مدیره شرکت دانش بنیان کاوش صنعت توس

موضوع: ارسال تفاهم نامه و معرفی دکتر ابوترابی زارچی به شرکت دانش بنیان کاوش صنعت توس جهت انجام دوره فرصت مطالعاتی

با سلام و احترام

بازگشت به نامه شماره ۱۷۳۸-۰۱ مورخ ۱۴۰۱/۱۲/۱۳، بدین وسیله جناب آقای دکتر حسین ابوترابی زارچی، عضو محترم هیات علمی دانشکده مهندسی این دانشگاه جهت حضور پاره وقت از تاریخ ۱۴۰۲/۰۱/۱۵ لغایت ۱۴۰۲/۰۷/۱۵ در شرکت

دانش بنیان کاوش صنعت توس به منظور انجام دوره فرصت مطالعاتی معرفی می‌شوند. به پیوست، تفاهم نامه همکاری در این زمینه ارسال می‌گردد.



مدیر ارتباط با صنعت و جامعه

ماده ۲. اهداف

- ۱-۲. کمک به افزایش شناخت اعضای هیئت علمی مؤسسه‌ها از فضای کار واقعی در جامعه و صنعت
- ۲-۲. تقویت ارتباط مؤسسه با جامعه و صنعت، همچنین گسترش همکاری‌های پایدار علمی و پژوهشی بین مؤسسه و واحد عملیاتی

۳-۲. استفاده مفید و مؤثر از امکانات، آزمایشگاه‌ها و تجهیزات واحدهای عملیاتی

۴-۲. جهت‌دهی به پژوهش‌های مؤسسه و گسترش دانش و فناوری کاربردی مورد نیاز جامعه و صنعت

۵-۲. انتقال و ترویج یافته‌های جدید دانش و فناوری مؤسسه به جامعه و صنعت با هدف ارتقای توان علمی و فنی واحدهای عملیاتی

۶-۲. کمک به رفع مشکلات علمی و تخصصی واحدهای عملیاتی

۷-۲. شناسایی مشکلات واحدهای عملیاتی از لحاظ تنوع و کیفیت محصول یا خدمات، قیمت، زمان تحویل و ... و طرح پیشنهاد و راهکار برای حل آنها

۸-۲. شناسایی فناوری‌های مورد نیاز ۱ و طرح پیشنهاد برای تدوین یا انتقال فناوری به واحدهای عملیاتی

۹-۲. مشارکت در سیاست‌گذاری و تعریف طرح برای اصلاح فرآیندها و محصولات و توسعه پایدار اقتصادی

کشور، مانند مصرف بهینه انرژی، ارتقای سلامت و ایمنی، و بهبود محیط‌زیست مردم

هدف از گذراندن دوره فرصت مطالعاتی در شرکت کاوش صنعت (در جلسه ارائه در هیات رئیسه دانشکده مهندسی - بهمن ۱۴۰۱)

- طراحی و راه اندازی مجموعه تست آزمایشگاهی بلبرینگ مغناطیسی جهت صنایع پتروشیمی
- مشاوره و پژوهش در زمینه طراحی و ساخت کمپرسورهای سرعت بالا با حذف گیربکس مکانیکی
- هدایت پروژه های ت ت و کارشناسی به سمت پروژه های سفارش محور در سال های پیش رو
- به روز نمودن مباحث آموزشی مرتبط با دروس تدریس اینجانب

• دستاوردهای فرصت مطالعاتی انجام شده

- ایجاد کانال ارتباطی مستمر با شرکت مزبور و شرکت دانش بنیان کاوش الکترونیک وندا شرق (سهامدار عمده: شرکت کاوش صنعت توس)
- تعریف عنوان رساله دکتری و برگزاری جلسه پیشنهادیه آن در زمینه موضوع فرصت مطالعاتی (عنوان پیشنهادیه: کنترل موقعیت یاتاقان مغناطیسی فعال مبتنی بر مدل های تحلیلی و المان محدود)
- تعریف، هدایت و خاتمه دو پروژه کارشناسی و معرفی و سرپرستی ۳ کارآموزی در تابستان ۱۴۰۲ در محل شرکت کاوش الکترونیک
- ارائه یک مقاله مشترک با شرکت و پذیرش آن در کنفرانس معتبر بین المللی
Analysis and Enhanced Modeling of Inductive Displacement Sensor in Active Magnetic Bearing
ICEM 2024, Italy, Sept. 2024
- استخراج صورت مساله های حوزه مورد مطالعه با نگاه کاربردی به منظور تعریف پروژه ها با هماهنگی شرکت
- کمک به جذب نیروهای کارآمد در شرکت
- جذب اسپانسر برای خودروی فرمول الکتریکی دانشجویی

• بازه زمانی فرصت مطالعاتی انجام شده

شماره: ۱۳۲۳-۰۲

تاریخ: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲

پیوست: ندارد



جناب آقای دکتر پناهی

مدیر محترم دفتر ارتباط با صنعت و جامعه دانشگاه فردوسی مشهد

موضوع: آقای دکتر حسین ابوترابی زارچی

با سلام و احترام

با آرزوی توفیق روزافزون برای جنابعالی و همکاران محترم، بدینوسیله به استحضار می‌رساند آقای دکتر حسین ابوترابی زارچی عضو هیات علمی آن دانشگاه محترم، دوره شش ماهه فرصت مطالعاتی خود را در بازه زمانی ۱۴۰۲/۰۱/۱۵ لغایت ۱۴۰۲/۰۷/۱۵ مطابق تفاهم‌نامه فی‌مابین به صورت پاره وقت (دو روز در هفته) با موفقیت در این شرکت به پایان رسانده‌اند.
از حسن اعتماد جنابعالی به شرکت دانش بنیان کاوش صنعت توس قدردانی می‌نماید.

با تقدیم احترام
علیرضا ناصری حسینی
مدیر عامل



مقدمه و بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم یاتاقان مغناطیسی فعال

محاسبات نیرو و سیستم کنترل

صورت مساله های مطرح در این حوزه

کاربردها	سرعت (توان)
خودروسازی / تولید برق (اکثر موتورهای الکتریکی)	۲۲۰۰۰۰ دور بر دقیقه (2 kW) ۳۵۰۰۰ دور بر دقیقه (150 kW)
پمپ‌های توربومولکولار	۱۰۰۰۰۰ دور بر دقیقه (صدها وات)
کمپرسورهای گاز	۲۰۰۰۰ دور بر دقیقه (10 MW)
کمپرسورهای هوا و دمنده‌های هوا	۸۰-۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه (100-150 kW)
میکرو-توربین‌ها	۸۰۰۰۰ دور بر دقیقه (50 kW)

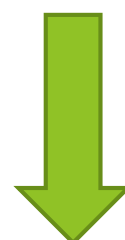
مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

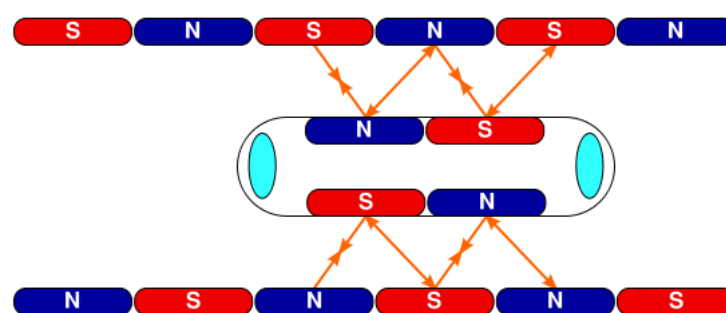
محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده

با توجه به کاهش اندازه یا افزایش چگالی توان برای یک رنج مشخص توان و بهبود قابلیت اطمینان مطابق با عملکرد درایو مستقیم بدون گیربکس در سرعت‌های بالا، محبوبیت ماشین‌های سرعت بالا در حال افزایش است.



بکارگیری یاتاقان های مغناطیسی



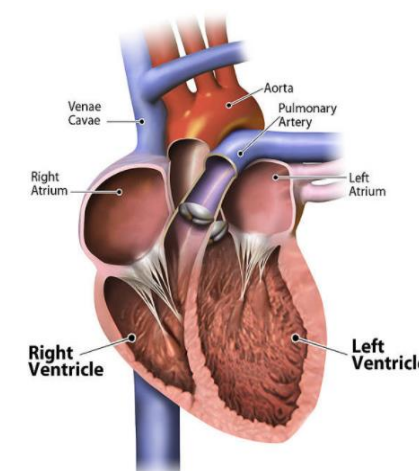
صنایع حمل و نقل ریلی

مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده



کاربردهای پزشکی

صنایع هوا و فضا



صنایع نفت و گاز



مزایای سیستم یاتاقان مغناطیسی فعال

عدم وجود اصطکاک

پایش بهتر شرایط سیستم

کم شدن جرم و ابعاد کلی مجموعه
توربواکسپندر

سازگار با محیط زیست

جلوگیری از رسوب و یخ زدگی در سیستم روغن کاری

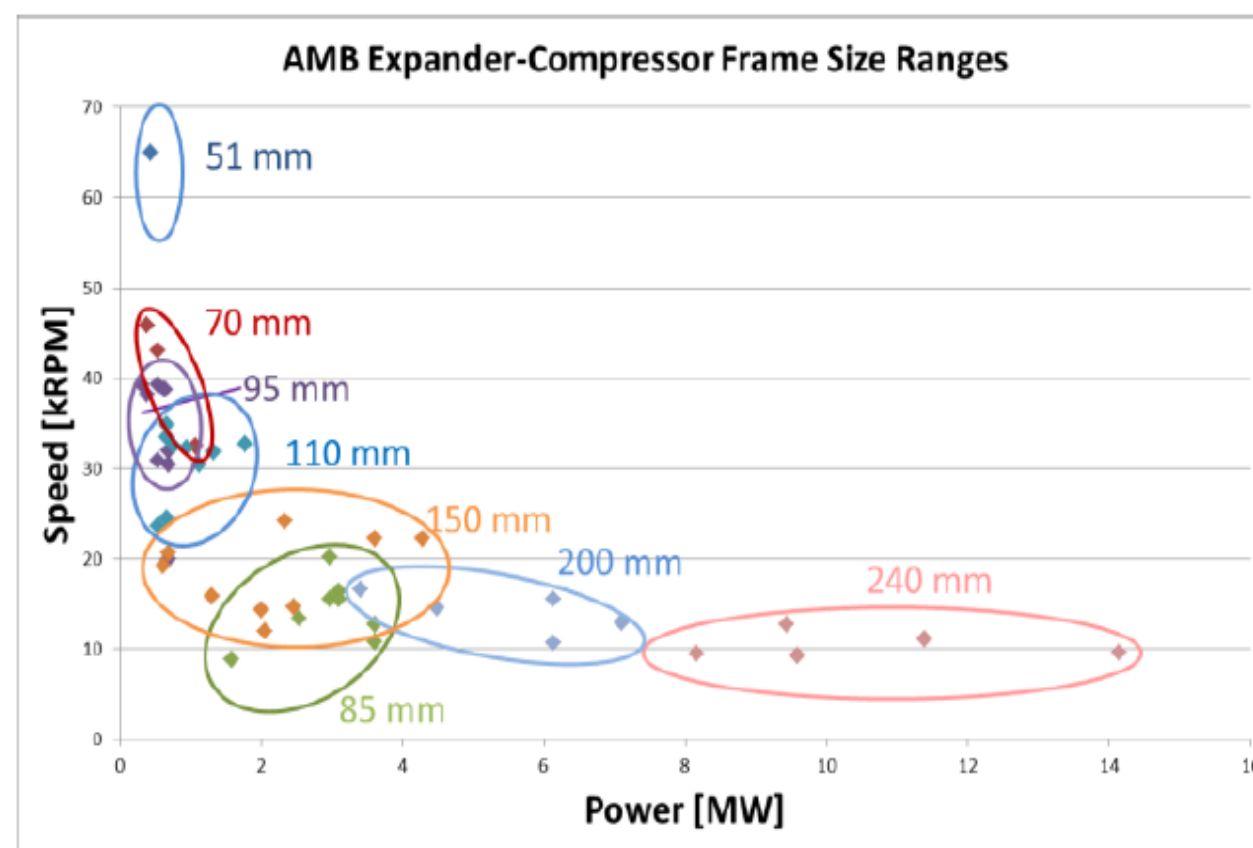
مطابق با حذف سیستم روغن کاری،
ابعاد و جرم کلی سیستم کاهش می
یابد

مقدمه و
بیان مسئله

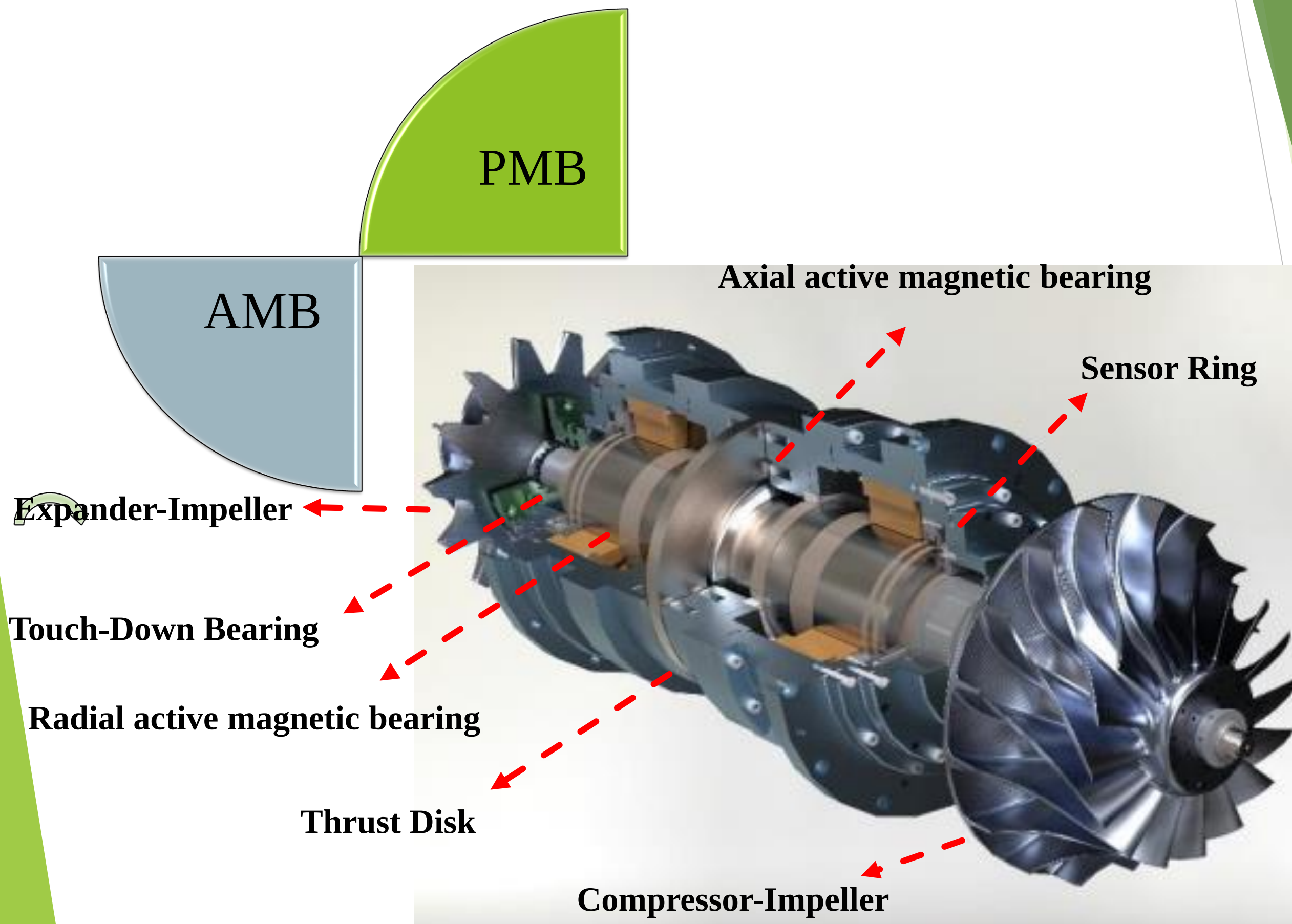
معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده



انواع سیستم تعلیق مغناطیسی



مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده

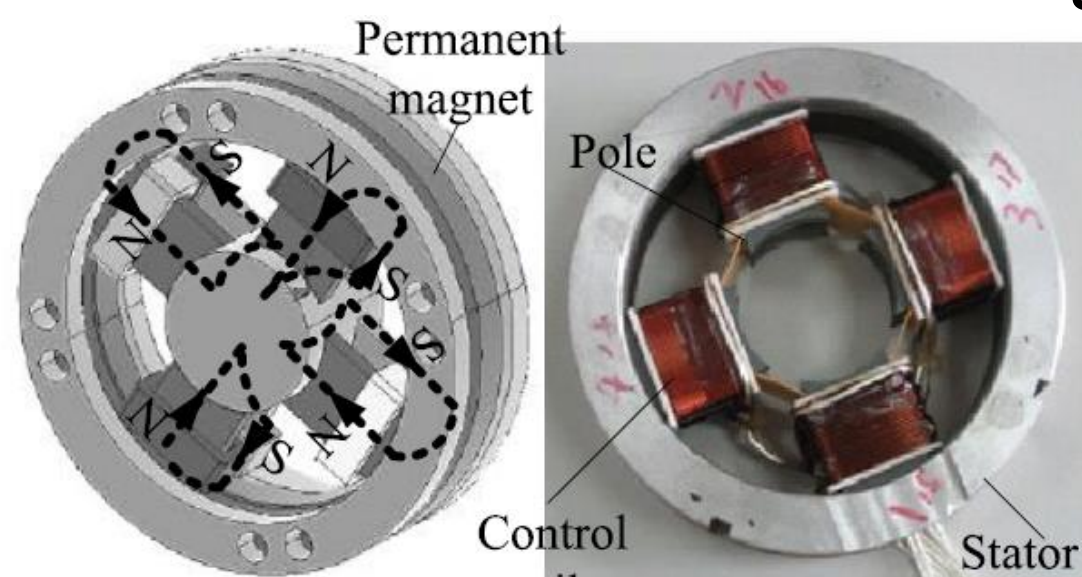
یاتاقان شعاعی



✓ به عنوان استاتور سیستم شناخته می شود.

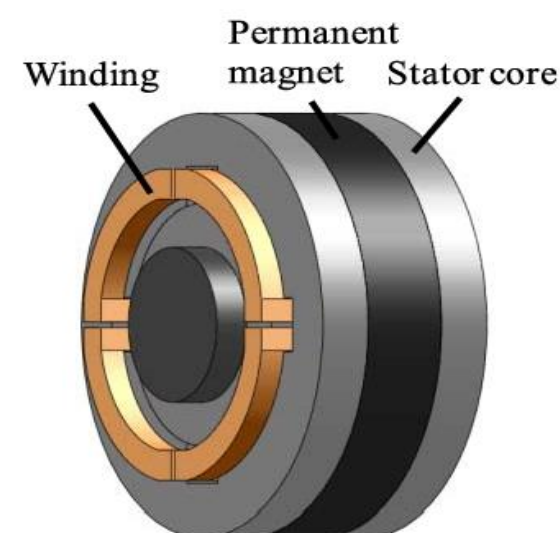
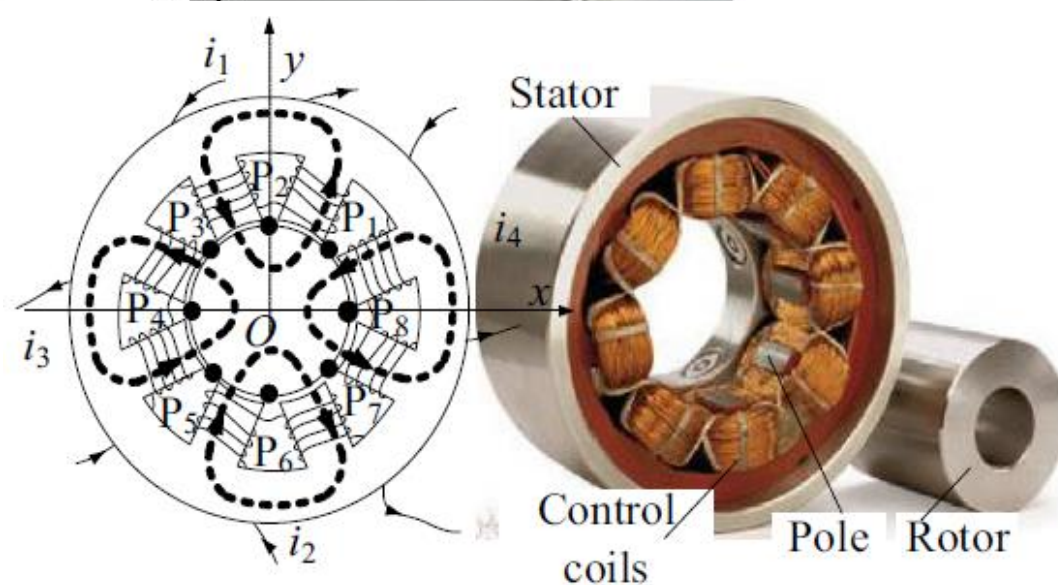
✓ شامل چندین عملگر است که این عملگرها می تواند از یک یا چندین قطب تشکیل شود.

✓ عملگرهای رو به روی هم یک محور را تشکیل می دهند.



ساختار Homopolar

ساختار Heteropolar



مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

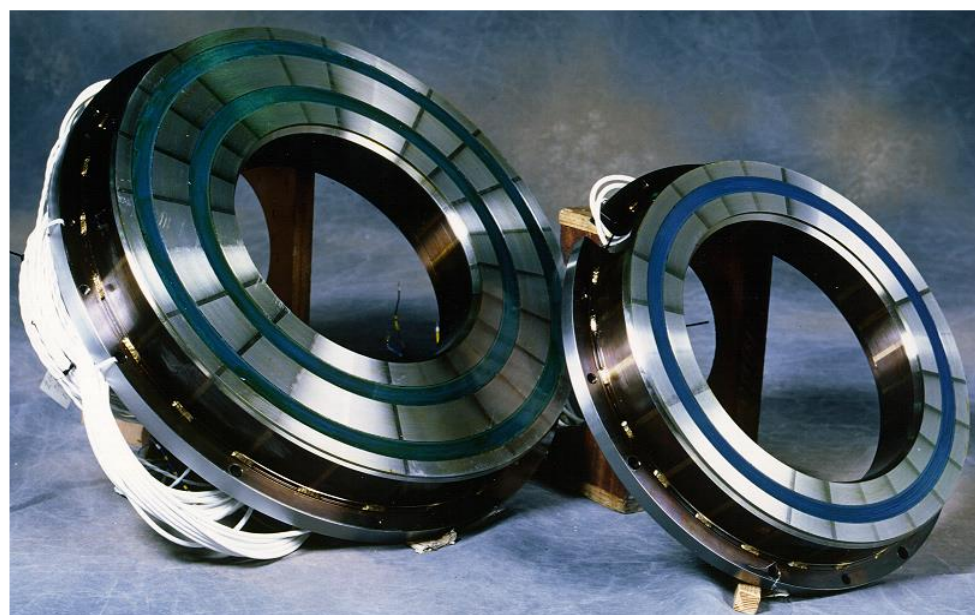
محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده

یاتاقان محوری



- ✓ شفت را در راستای محوری بدون هیچ تماس فیزیکی در وسط نگه می دارد.
- ✓ بر روی یک دیسک عمل می کند
- ✓ دو یاتاقان محوری رو به روی هم در بدنه سیستم قرار می گیرد.
- ✓ یک فولاد صلب کم کربن به عنوان ماده استفاده می شود



مطابق با استاندارد API617، یاتاقان های شعاعی و محوری مجهز به حسگر دما جهت پایش شرایط دمایی یاتاقان ها، هستند.

مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده

حسگر موقعیت



✓ فیدبک موقعیت محوری و شعاعی شفت را فراهم می سازد.

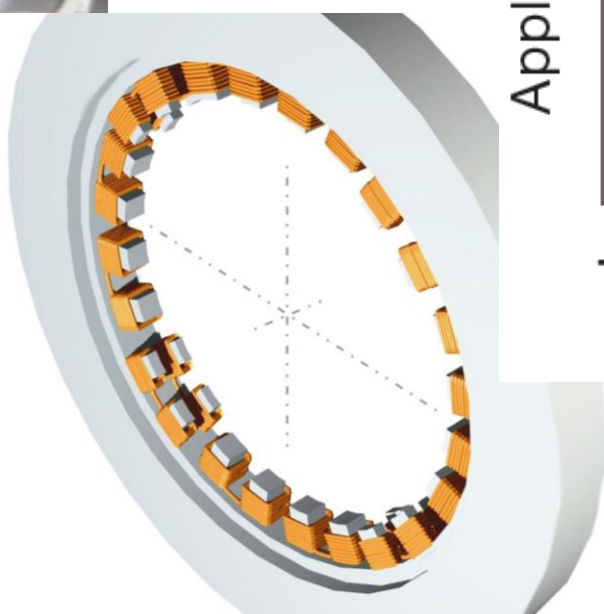
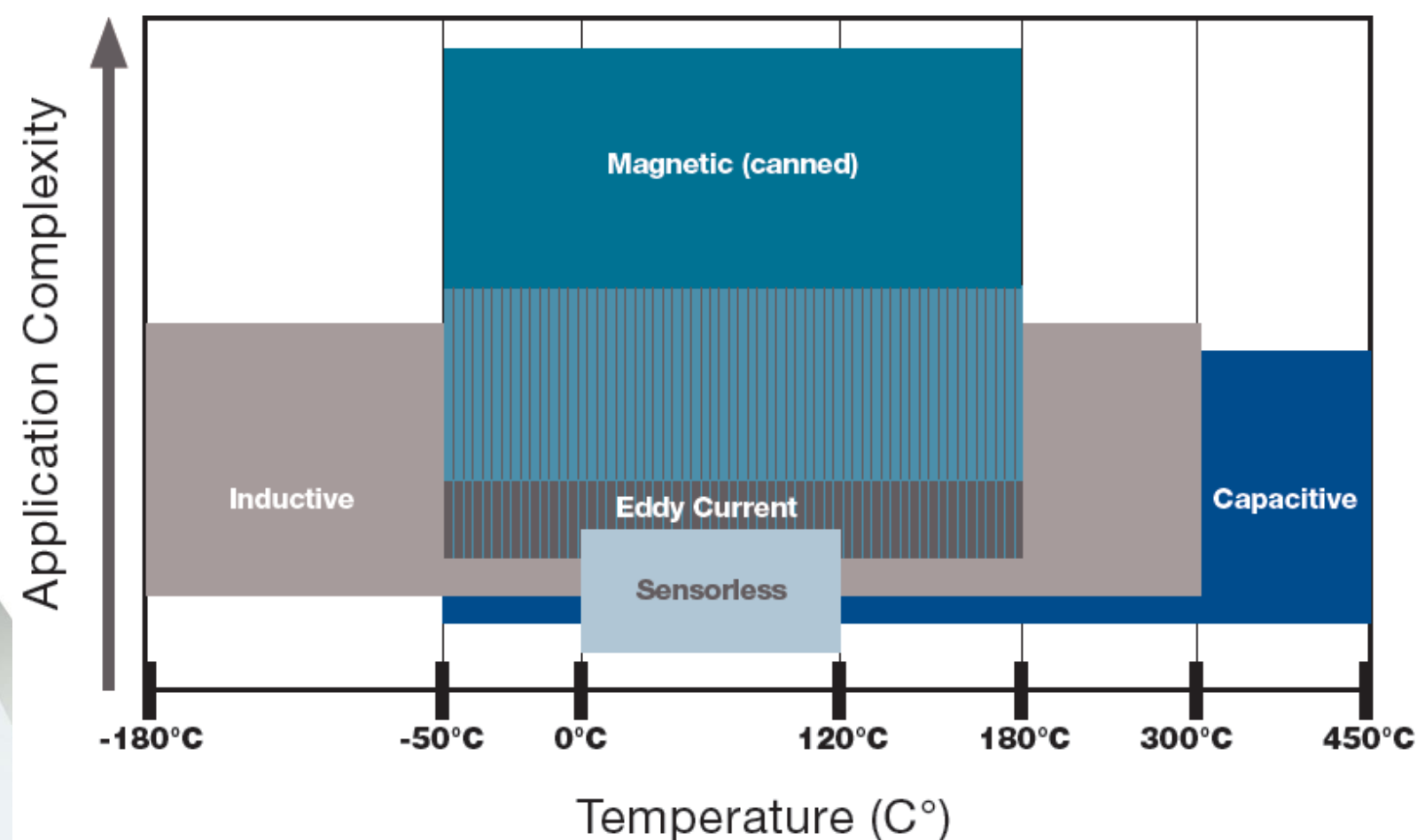
✓ وابسته به الزامات عملکرد سیستم، می توانند از نوع حسگرهای الکترومغناطیسی، خازنی، و یا مغناطیسی باشند.

مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده



یاتاقان کمکی



حسگر سرعت



✓ شفت را در مواقعی که توسط یاتاقان‌های
مغناطیسی فعال، معلق نیست یا خطایی رخ
می‌دهد، حفظ می‌کنند.

✓ فاصله محوری و شعاعی بین روتور و یاتاقان‌های
کمکی، در حدود نصف یا کمتر از نصف فاصله روتور
و یاتاقان‌های مغناطیسی و حسگرها می‌باشد.



حسگرهای **پسیو** (سرعت متغیر)

حسگرهای فعال (اثر هال)

✓ نحوه عملکرد این حسگر به این صورت است که بر
روی شفت از یک نشان فرومغناطیس استفاده شده
و در بخش حسگر، یک سیم‌پیچ بر روی یک آهنربا
پیچیده شده است.



مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده

شفت سیستم تعليق



✓ روتور از یک شفت با یک دیسک مرکزی ساخته شده که مقطع زیر یاتاقان‌های شعاعی مورق شده است.

✓ فاصله‌ی مجاز مرسوم بین روتور و یاتاقان‌های مغناطیسی یا حسگرهای موقعیت در رنج 0.4 تا 1 میلی‌متر است.

بدنه یاتاقان مغناطیسی



✓ بدنه‌ها برای متصل کردن همه‌ی اجزای یاتاقان مغناطیسی به یکدیگر نیاز هستند

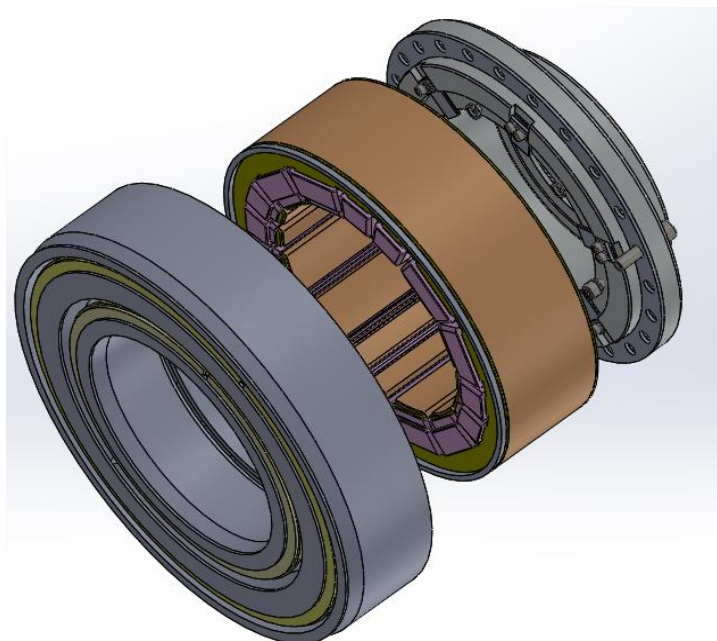
✓ یاتاقان محوری و شعاعی، حسگرها و یاتاقان‌های کمکی درون یک بدنه (قابل حذف) قرار داده می‌شوند

مقدمه و
بیان مسئله

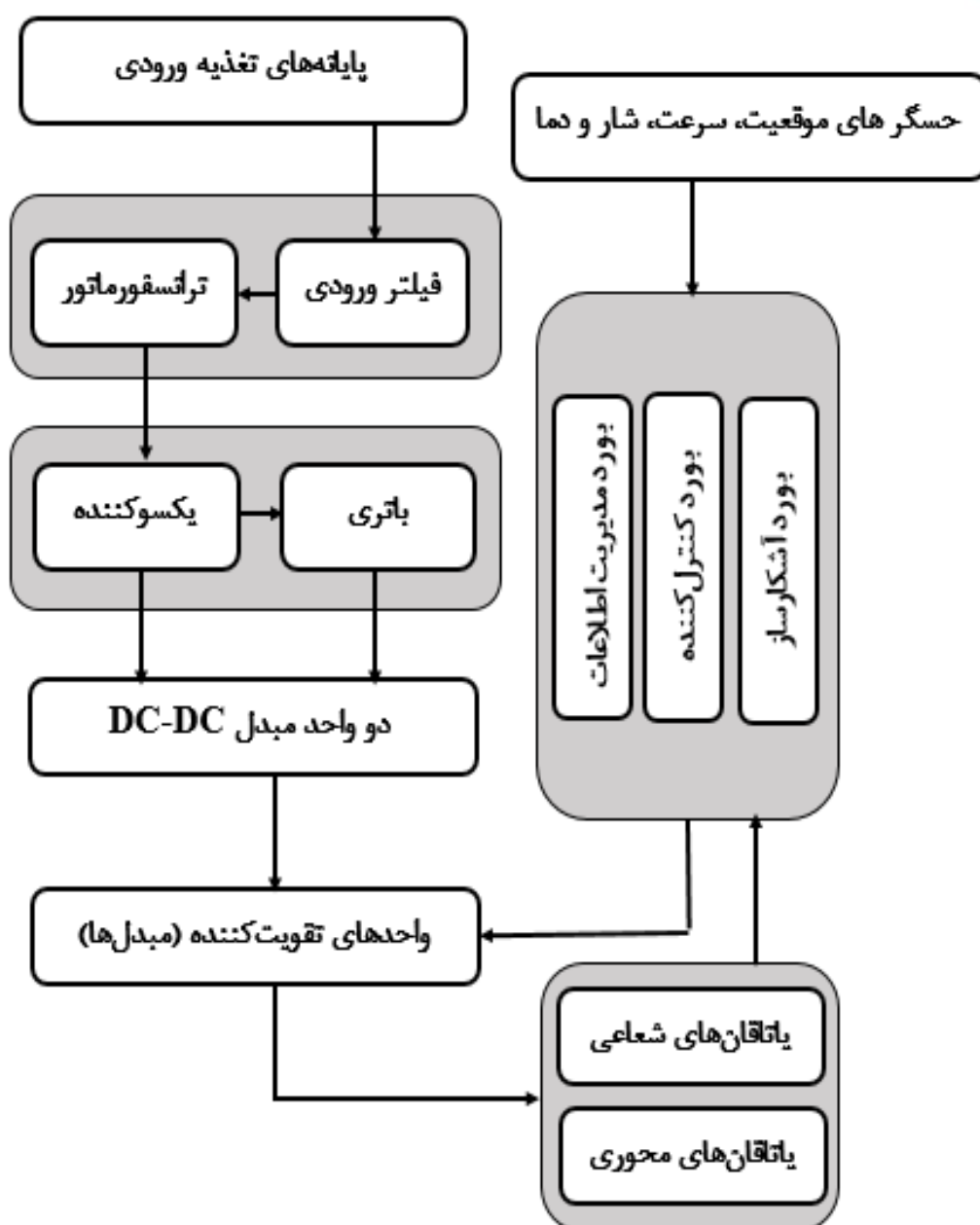
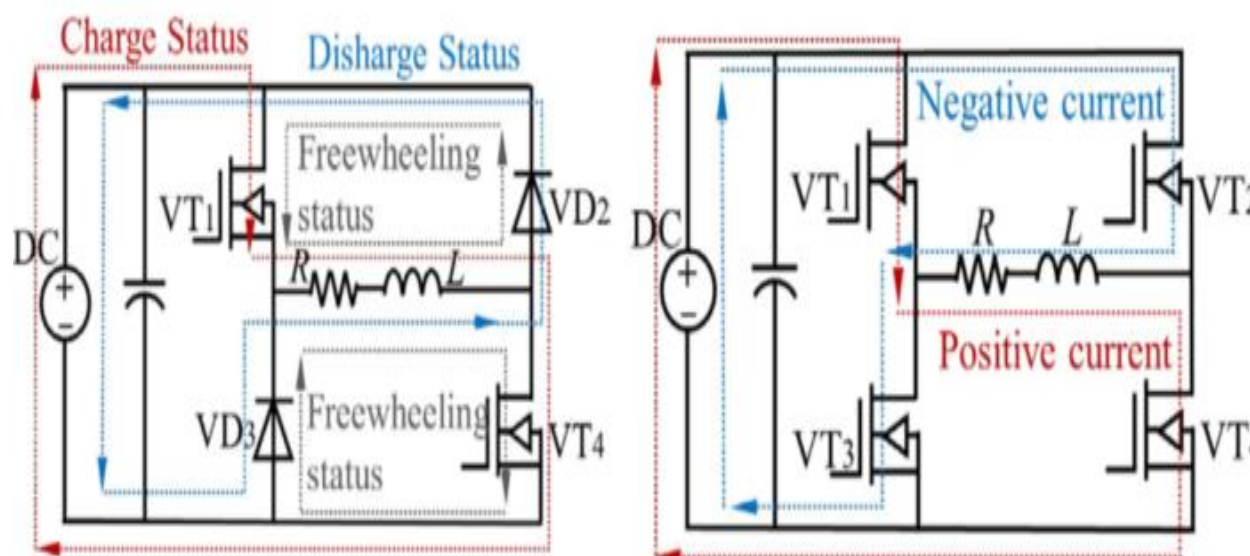
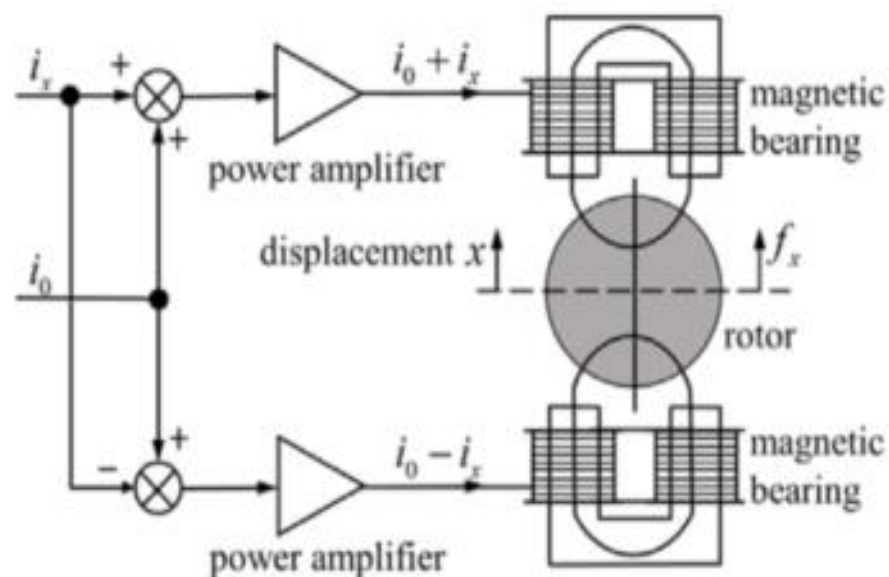
معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده



تابلو کنترل یاتاقان مغناطیسی

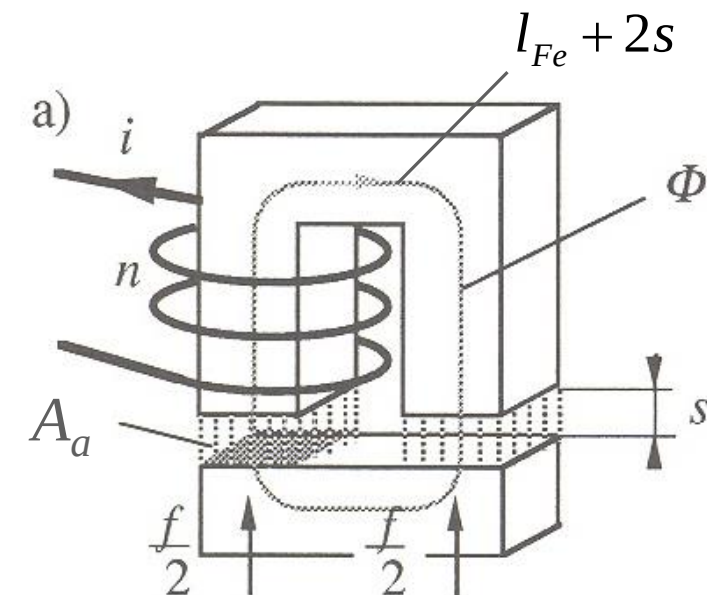


مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده



$$U_a = \frac{1}{2} B_a H_a V_a = \frac{1}{2} B_a H_a A_a s \quad \longrightarrow \quad F = \frac{\partial U_a}{\partial s}$$

$$F = \frac{1}{2} B_a H_a A_a \quad \longrightarrow \quad H_a = \frac{B}{\mu_0} \quad \longrightarrow \quad F = \frac{1}{2} \frac{B_a^2 A}{\mu_0}$$

for a single pole

مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده

رابطه نیرو در سیستم یاتاقان



رابطه نیرو بر حسب جابجایی:

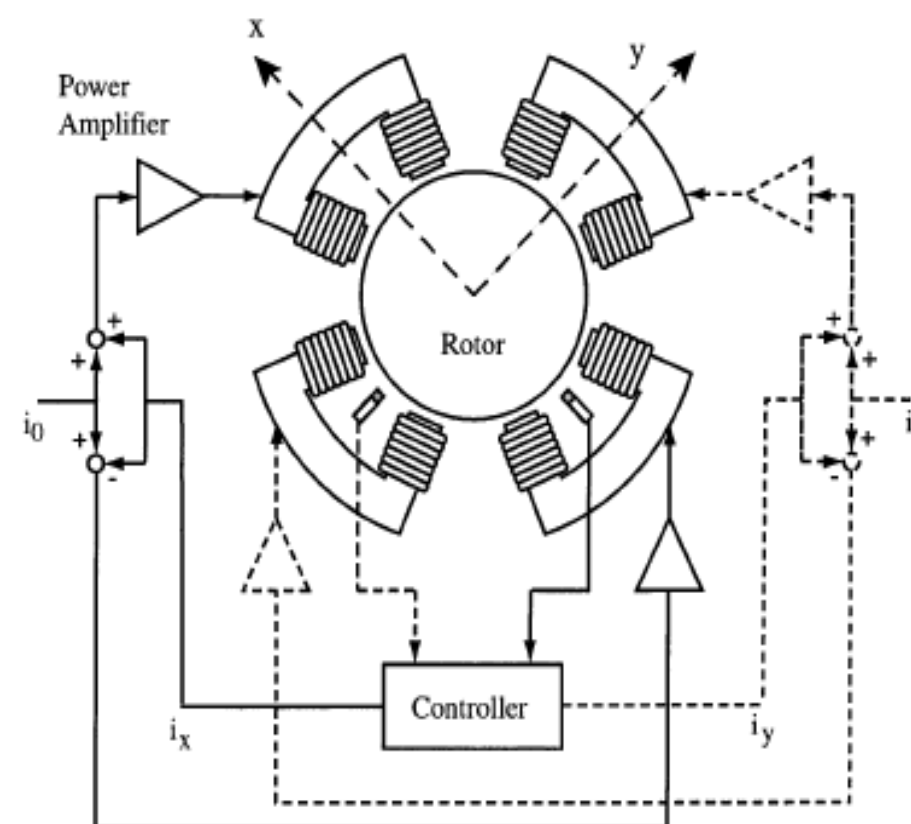
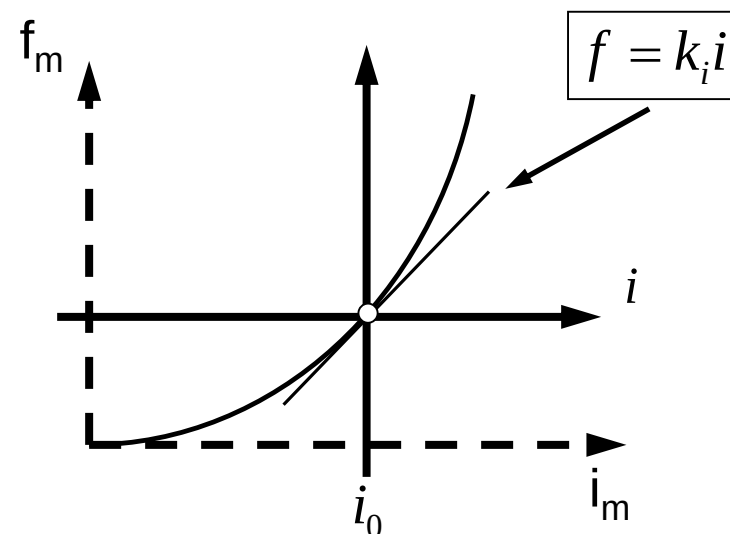
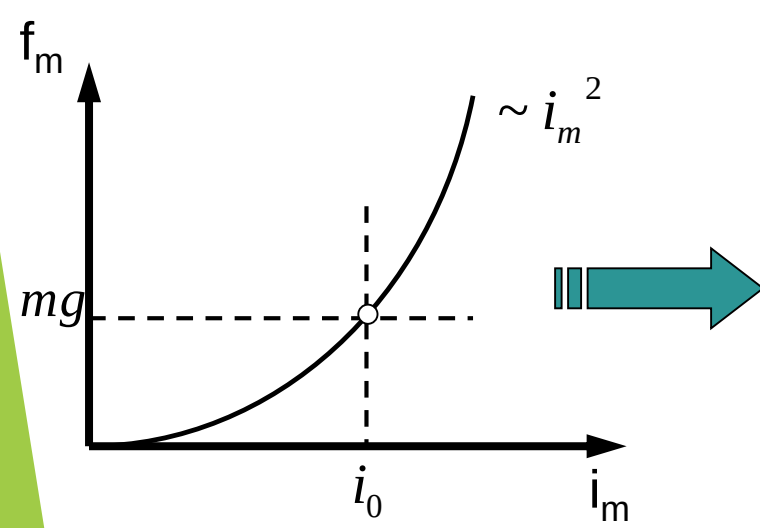
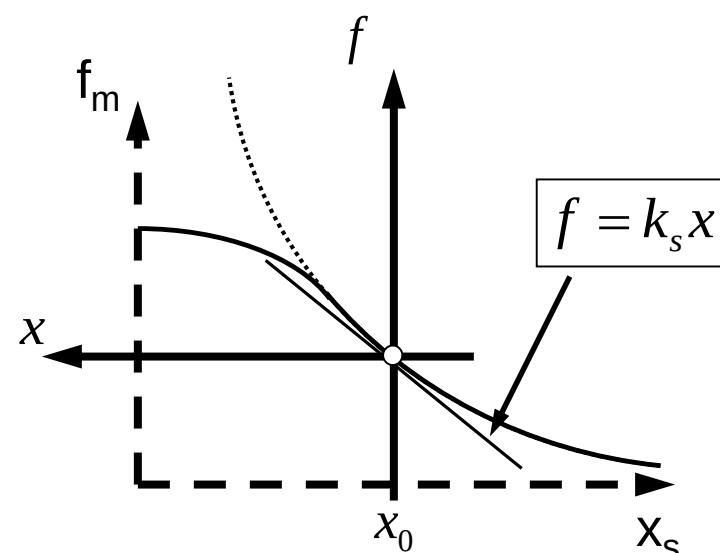
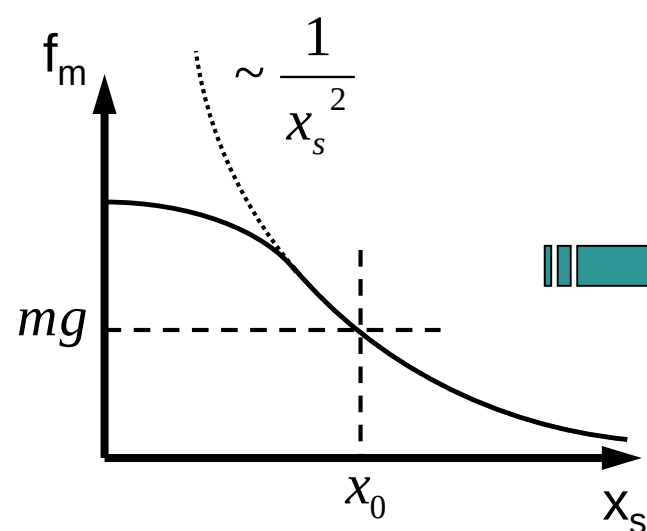
$$f = \mu_0 \left(\frac{ni}{l_{Fe}/\mu_r + 2s} \right)^2 A_a \cos \alpha$$

خطی سازی رابطه نیرو در نقطه کار:

$$f_x = f_+ - f_- = k \left(\frac{(i_0 + i_x)^2}{(s_0 - x)^2} - \frac{(i_0 - i_x)^2}{(s_0 + x)^2} \right) \cos \alpha$$

$$f_x = \left. \frac{\partial f_x}{\partial i_x} \right|_{\bar{x}_0} \cdot i_x + \left. \frac{\partial f_x}{\partial x} \right|_{\bar{x}_0} \cdot x$$

$$f_x = \underbrace{\left(\frac{4ki_0^2}{s_0^2} \cos \alpha \right)}_{\text{}} i_x + \underbrace{\left(\frac{4ki_0^2}{s_0^3} \cos \alpha \right)}_{\text{}} x$$



مقدمه و بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های استخراج شده

$$F_{max} = ?$$

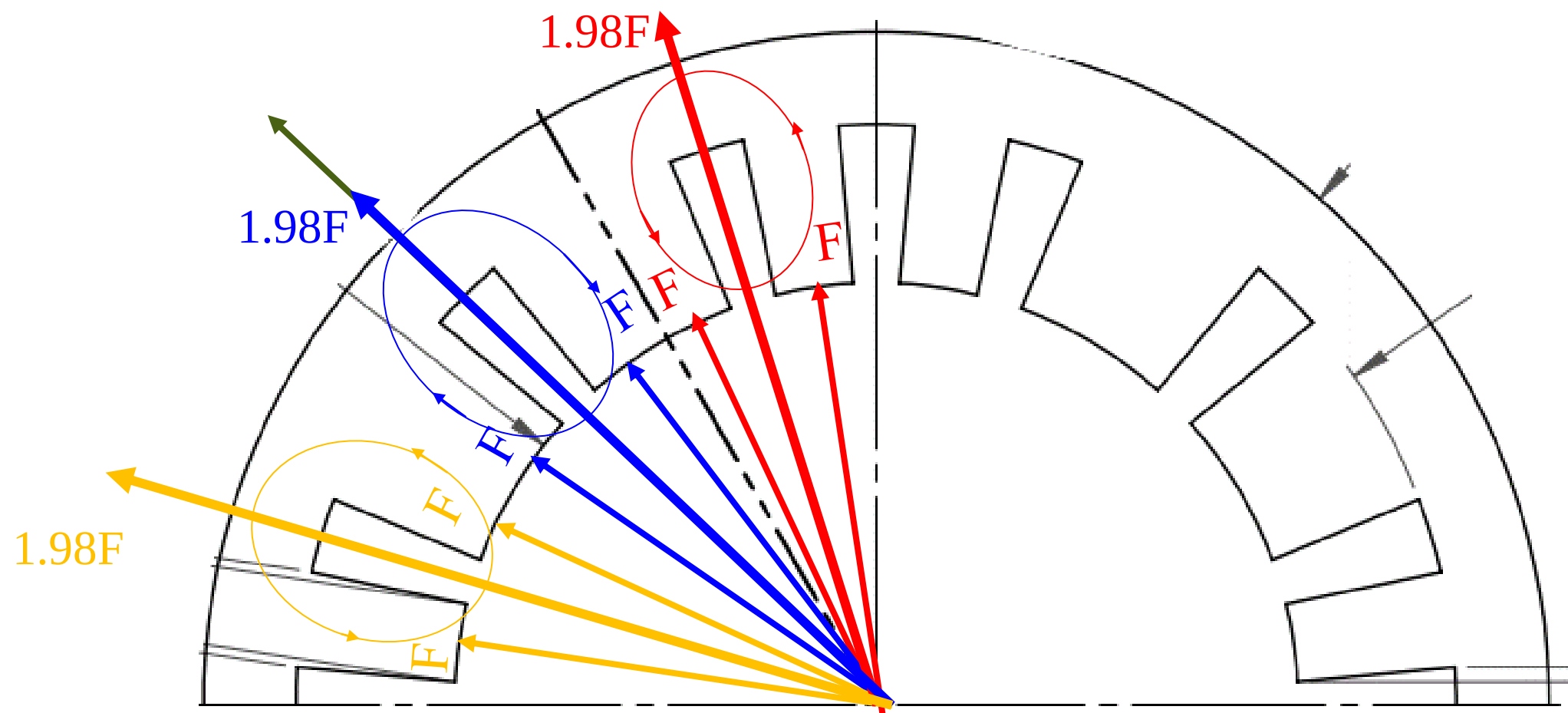


Fig.5

$$F_t = \sqrt{F^2 + F^2 + 2F^2 \cos 17} = 1.98F$$

$$F_t = \sqrt{F^2 + F^2 + 2F^2 \cos 17} = 1.98F$$

$$F_t = \sqrt{F^2 + F^2 + 2F^2 \cos 17} = 1.98F$$

مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده

$F_{max} = ?$

$F_B = 3.2F$

$1.98F$

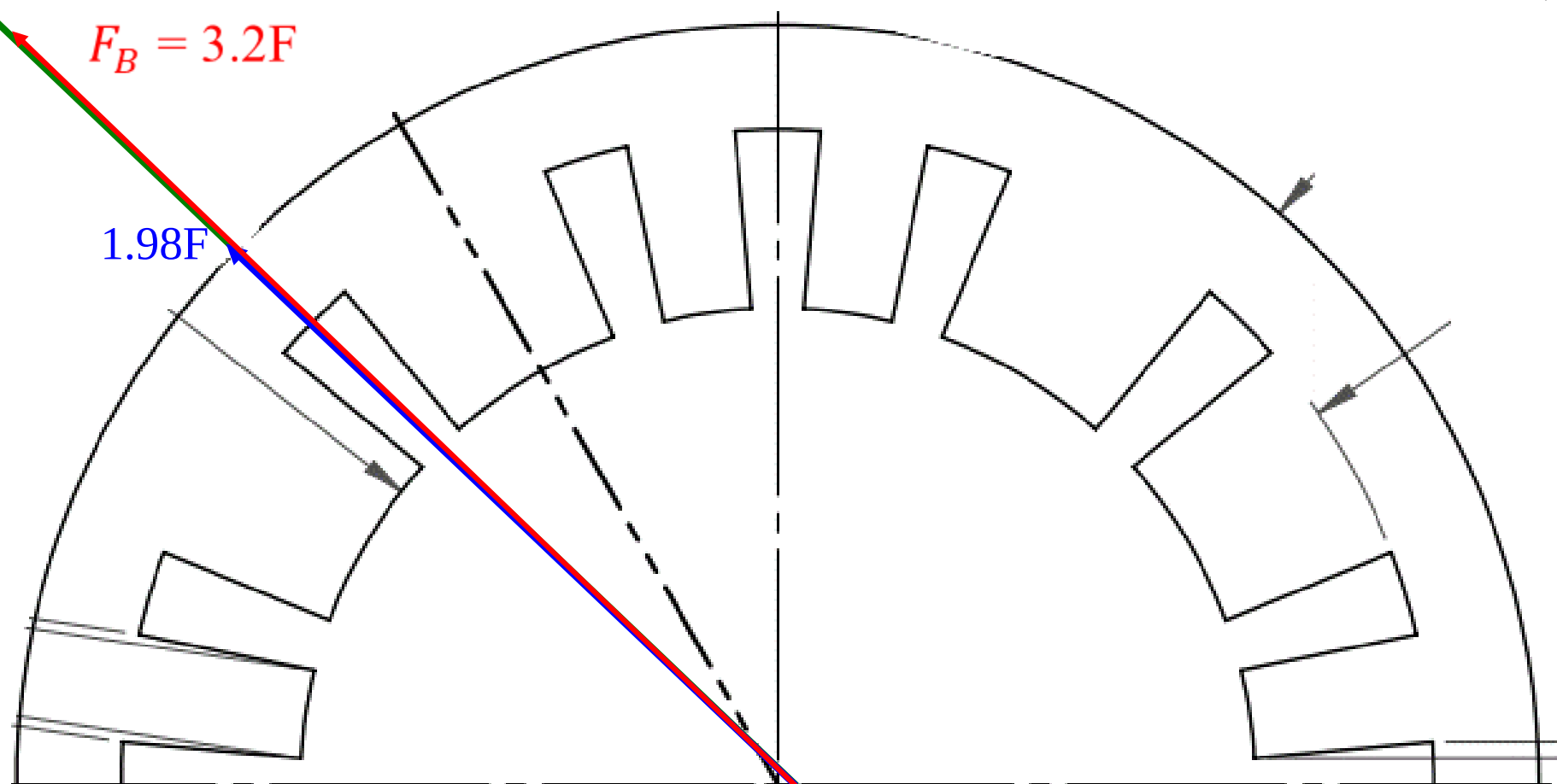


Fig.6

$$F_B = \sqrt{F_t^2 + F_t^2 + 2F_t^2 \cos 72.7} = 1.61F_t \quad \longrightarrow \quad F_t = 1.98F$$

$$F_B = 1.61(1.98F) = 3.2F \quad F_{max} = 3.2F + 1.98F = 5.18F$$

مقدمه و
بیان مسئله

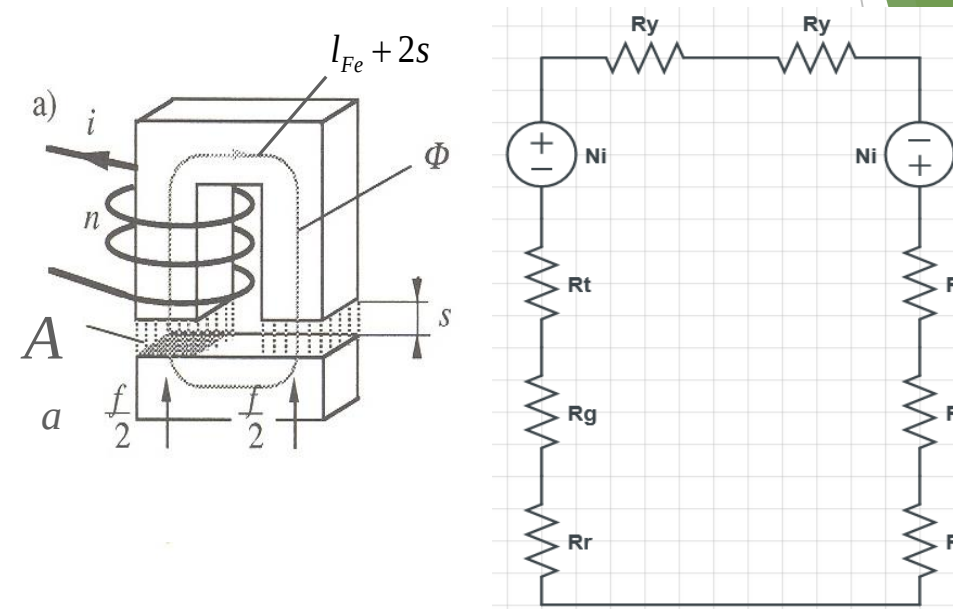
معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده

Equivalent circuit for single path:

Write a KVL for the path :



$$\Phi_0 = \frac{Ni}{R_y + R_t + R_g + R_r} = \frac{Ni}{\frac{l_y}{\mu_y A_y} + \frac{l_t}{\mu_t A_t} + \frac{l_g}{\mu_0 A_0} + \frac{l_r}{\mu_r A_r}} \rightarrow B_0 = \frac{\Phi_0}{A_0}$$

$$B_0 = \frac{Ni}{\frac{l_y A_0}{\mu_y A_y} + \frac{l_t A_0}{\mu_t A_t} + \frac{l_g A_0}{\mu_0 A_0} + \frac{l_r A_0}{\mu_r A_r}}$$

$$F = 1170.4(N)$$

$$F_{max} = 5.18F$$

$$F_{max} = 6062(N)$$

The simulation result is 5600N It can be seen that the calculation and load capacity are quite different, with a difference of 8%

مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده



دانشگاه تهران

عملکرد سیستم کنترل یاتاقان مغناطیسی

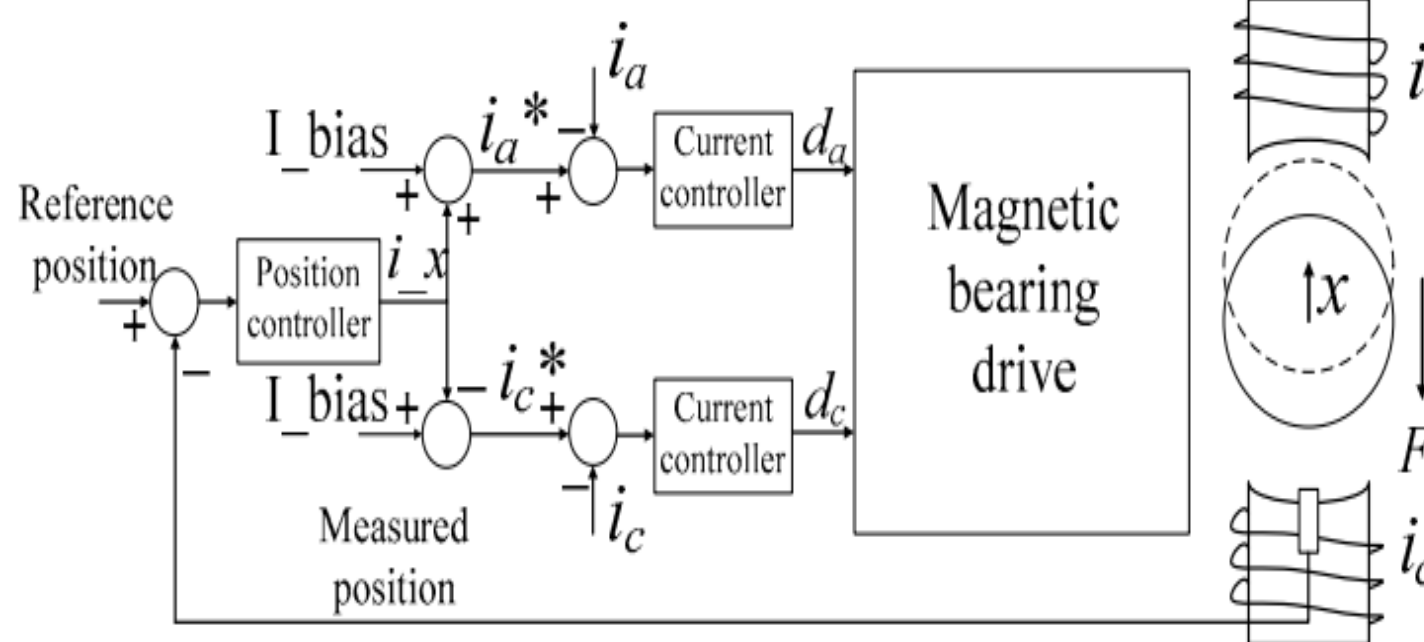
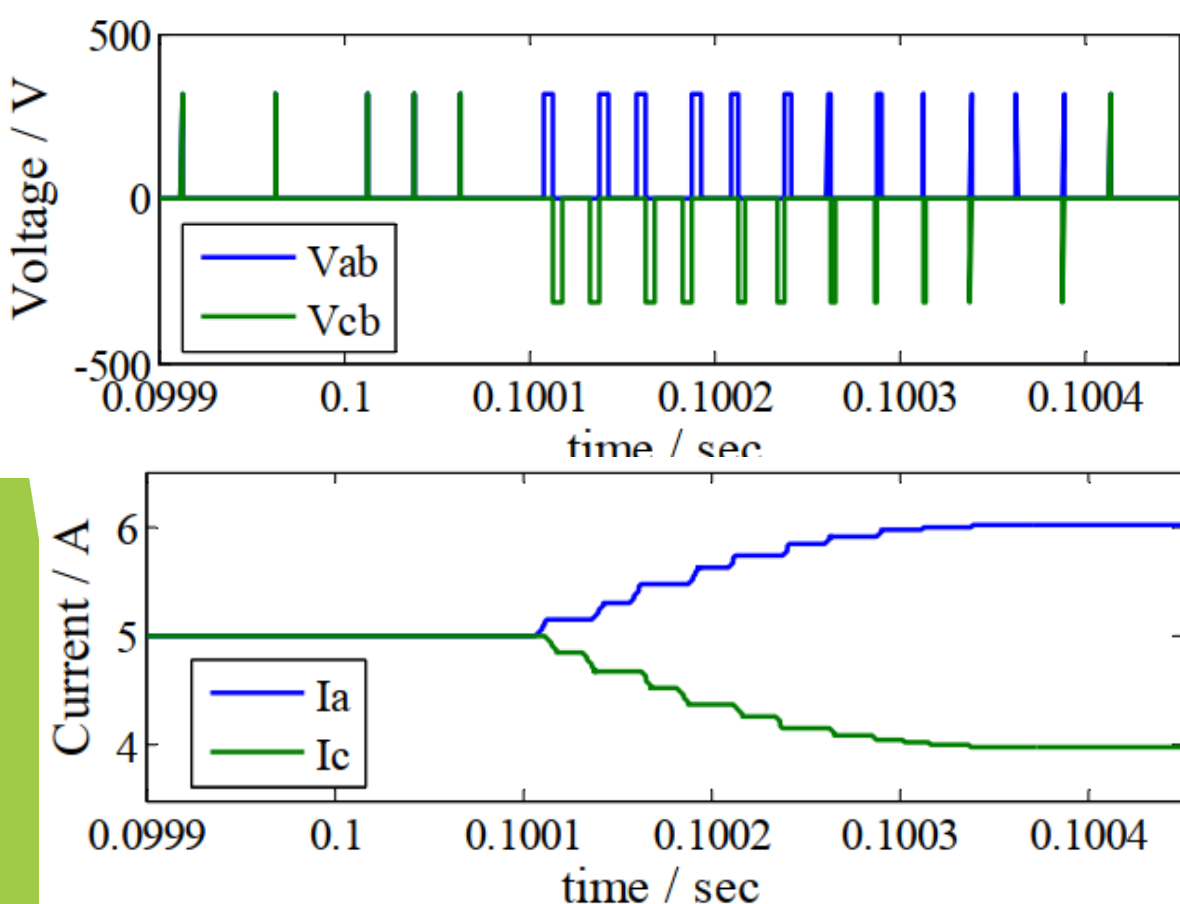


دانشگاه فردوسی مشهد

✓ در این مرجع رویه طراحی و روش کنترل برای یاتاقان‌های مغناطیسی ۴ محور، که برای موتور سرعت بالا ۲۰۰ کیلووات و ۴۰۰۰۰ دوربردقیقه طراحی شدند، ارائه شده است.

✓ تحلیل دینامیک روتور مبتنی بر FEM، برای یاتاقان انجام شده و با دیاگرام کمپبل، مودهای خم‌شدگی برای روتور شناسایی شده تا تضمین نماید رنج سرعت طراحی شده، رزونانس روتور را تحریک نخواهد کرد.

دیاگرام کنترل یک محور یاتاقان مغناطیسی



مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

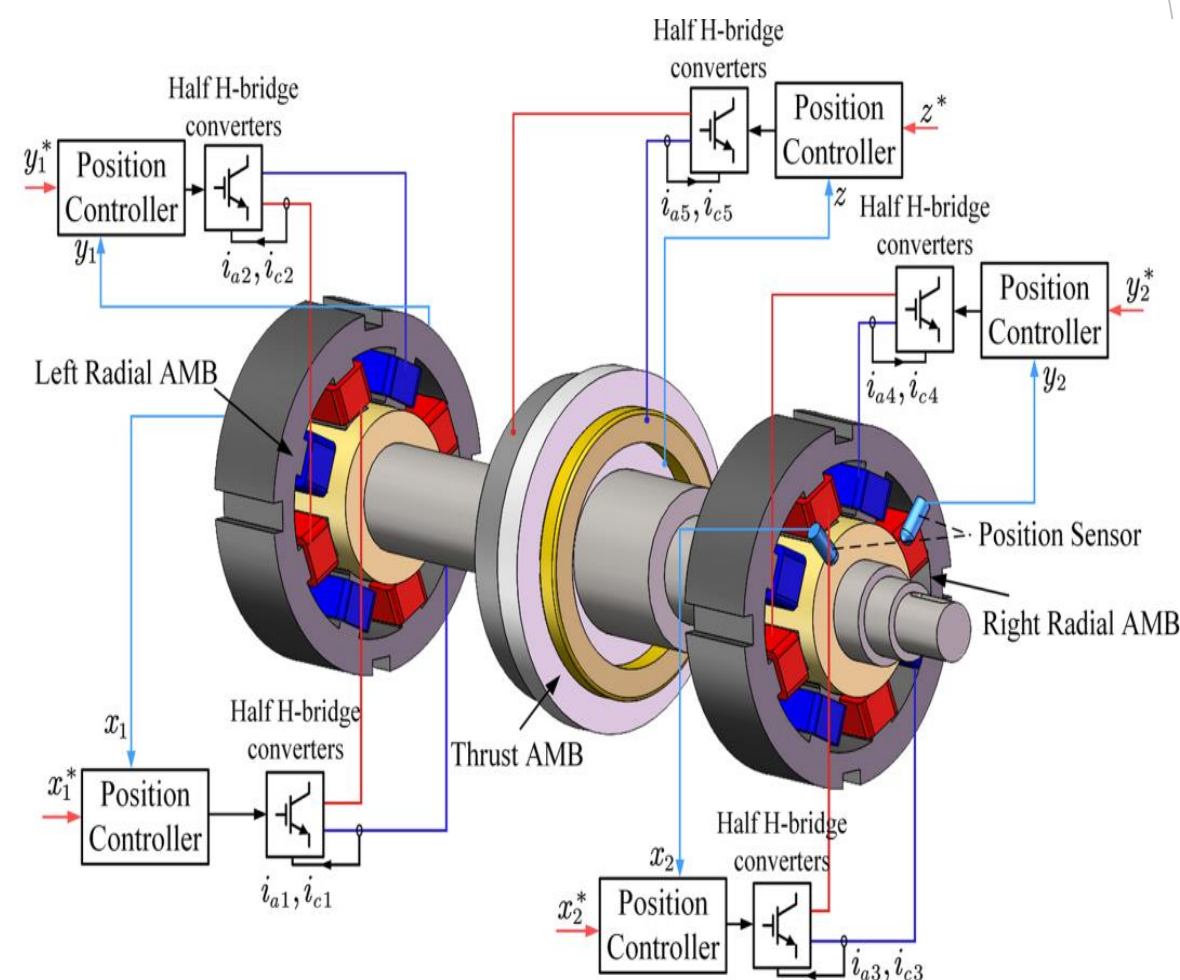
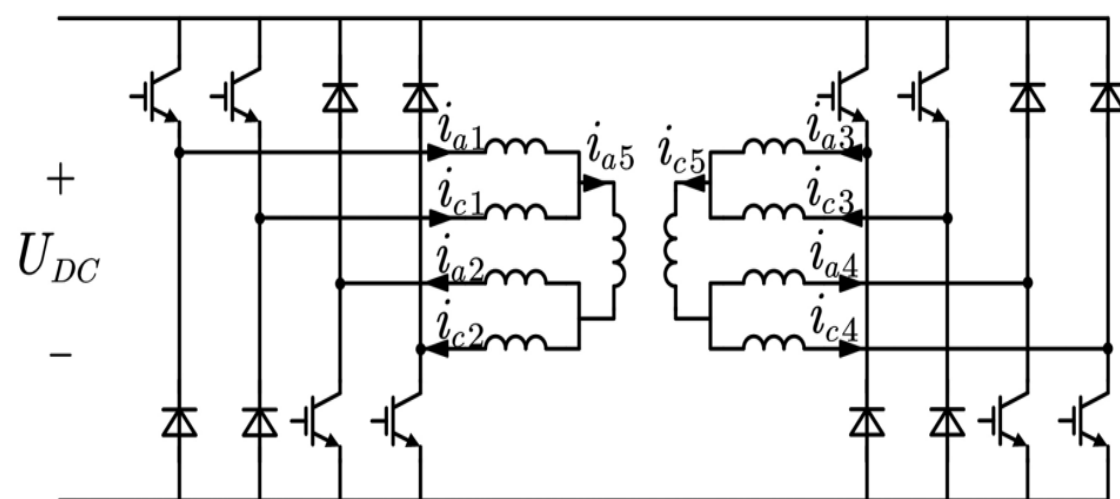
محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده

Zansong Fu, Dong Jiang and Ronghai Qu, "Design of four-axis magnetic bearing for high speed motor," 2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC-ECCE Asia), Hefei, pp. 786-791, 2016,

✓ به منظور کاهش هزینه و افزایش چگالی توان مبدل AMB، یک مبدل جدید با توپولوژی ۴ پایه - ۵ فاز - دابل به عنوان واحد تقویت کننده پیشنهاد داده است.

✓ این مبدل می تواند تمامی ده جریان سیم پیچ های AMB پنج محور را با تنها هشت سویچ کنترل کند درحالی که در مبدل های مرسوم به تعداد سویچ بیشتری نیاز بوده و از طرفی دیگر، سویچ های توپولوژی جدید دارای ولتاژ و جریان حداکثر یکسانی با توپولوژی های مرسوم می باشد.



مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده

بکارگیری کنترل پسگام

✓ در این مرجع یک کنترل کننده پسگام تطبیقی برای سیستم AMB که در معرض اغتشاشات خارجی است، ارائه شده است.

✓ صحت عملکرد این کنترل کننده به صورت عملی بررسی شده و نتایج حاصل از آن، با نتایج کنترل کننده انتگرالی-تناسبی، برای حداکثر دامنه اغتشاش قابل اجرا، مقایسه شده است.

✓ بکارگیری کنترل کننده خطی ← اعمال جریان بایاس ۰/۵ آمپر برای عملگرها

✓ بکارگیری کنترل کننده غیرخطی ← جریان بایاس صفر

جریان کنترل برابر در حالتی که دامنه اغتشاشات در کنترل پسگام دو برابر است.

بکارگیری کنترل مود لغزشی

✓ در این مرجع از یک کنترل مود لغزشی تطبیقی جهت تولید ورودی کنترل برای یک یاتاقان ترکیبی استفاده شده است.

✓ به مدل تحلیلی دقیق سیستم AMB، وابسته نبوده و از تئوری لیاپانوف، جهت تحلیل پایداری این کنترل کننده استفاده شده است

مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده

1 تحلیل المان محدود تمامی سنسورها، عملگرهای شعاعی و محوری سیستم
یاتاقان مغناطیسی فعال با هدف تجاری سازی

2 کنترل غیرخطی سیستم یاتاقان مغناطیسی فعال با هدف بهبود عملکرد دینامیکی
سیستم

3 بررسی نحوه پیاده سازی مجموعه آزمایشگاهی جهت اجرای تستهای کارخانه
(FAT) بر روی سیستم یاتاقان فعال

4 بهبود ساختار و کنترل مبدل‌های تولید ولتاژ ورودی یاتاقان با هدف کاهش تلفات و
هزینه

مقدمه و
بیان مسئله

معرفی اجمالی سیستم
یاتاقان مغناطیسی

محاسبات نیرو

صورت مساله های
استخراج شده

