

Desenvolvimento de Mancal Magnético para
Rodas de Reação
Qualificação Mestrado

Rafael Corsi Ferrão

`rafael.corsi@maua.br`
`http://www.maua.br`

3 de setembro de 2014

Introdução

Rodas de Reação

Revisão

O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos

1 Introdução

- Rodas de Reação
- Revisão

2 O mancal magnético

- Estator Interno
- Estator Externo

3 Modelo Dinâmico

4 Próximos passos

Introdução

Rodas de Reação

Revisão

O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos

- ▶ atuador eletromecânico
- ▶ conservação de momento angular



é constituída de :

- ▶ Motor de corrente contínua sem escovas (BLDC)
- ▶ Inércia
- ▶ Mancal
- ▶ Eletrônica

Introdução

Rodas de Reação

Revisão

O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos

Solução mais usual porém apesar de sua aparente simplicidade apresenta sérios desafios:

- ▶ Lubrificantes (Ciclos térmicos, radiação, pressão atmosférica)
 - ▶ Fluida
 - ▶ Seca
- ▶ Eventual necessidade de um selamento hermético
- ▶ Difícil modelagem

Introdução

Rodas de Reação

Revisão

O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos

Mancal magnético:

- ▶ solução sem contato mecânico entre o estator e rotor
- ▶ confiabilidade depende basicamente da eletrônica
- ▶ validação em ambiente terrestre
- ▶ eliminação da zona morta
- ▶ aumento na complexidade da malha de controle

Introdução

Rodas de Reação

Revisão

O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos

- ▶ Desenvolver um mancal magnético para rodas de reação que atenda os requisitos impostos pelo INPE;
- ▶ Versão de engenharia porém visando a "especialização"

Introdução

Rodas de Reação

Revisão

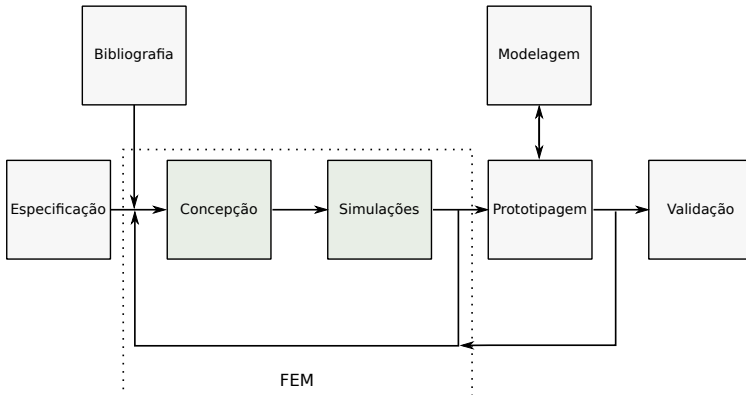
O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

O mancal magnético

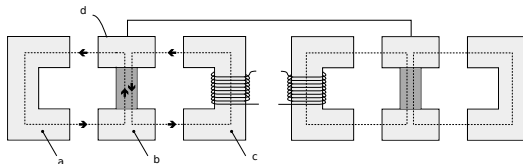
Estator Interno

Estator Externo

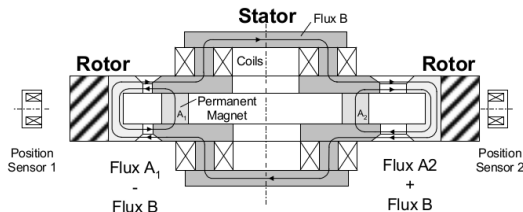
Modelo Dinâmico

Próximos passos

- ▶ mancais com aplicação em rodas de reação
- ▶ tipos de mancais magnéticos
- ▶ mancais magnético em rodas de reação



(1998) Bernus



((2001) Scharf)

Introdução

Rodas de Reação

Revisão

O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo

Dinâmico

Próximos passos

- ▶ dois graus de liberdade ativo (radial)
- ▶ graus de liberdade passivo estabilizados por ímãs permanentes
- ▶ geometria plana
- ▶ mancal localizado externo ao motor
- ▶ escalonável

Introdução

Rodas de Reação

Revisão

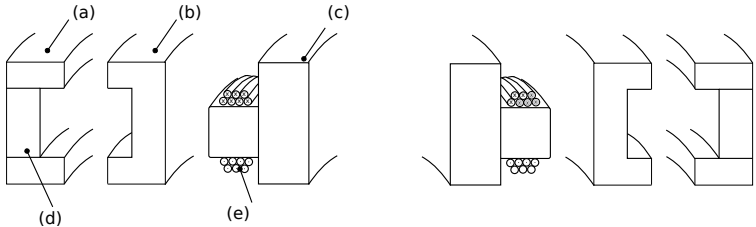
O mancal magnético

Estator Interno

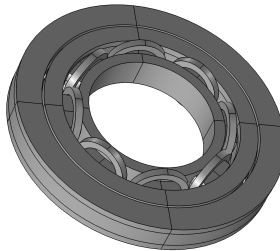
Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos



Corte longitudinal do mancal magnético



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

O mancal magnético

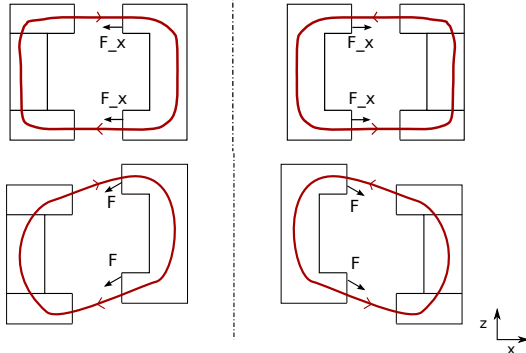
Estator Interno

Estator Externo

Modelo

Dinâmico

Próximos passos



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

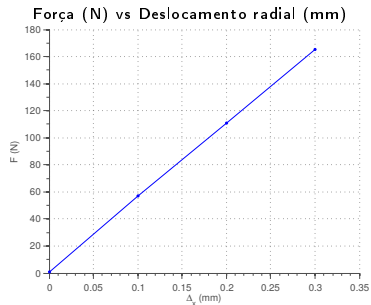
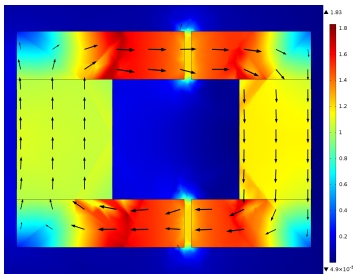
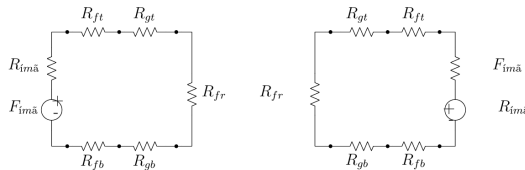
O mancal magnético

Estató Interno

Estató Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

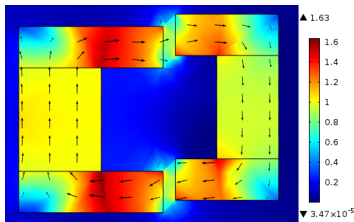
O mancal magnético

Estatador Interno

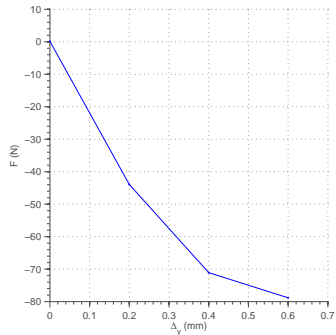
Estatador Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos



Força (N) vs Deslocamento axial (mm)



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

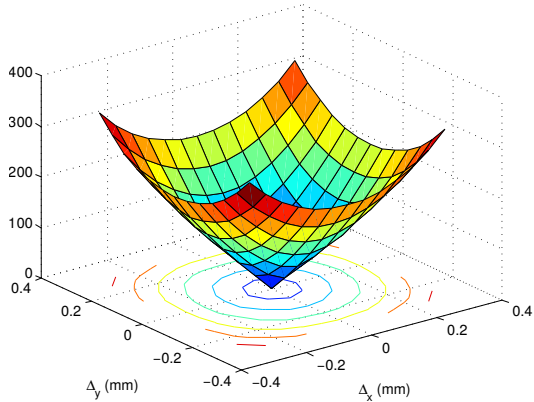
O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

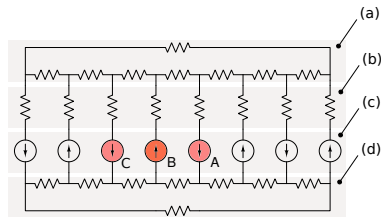
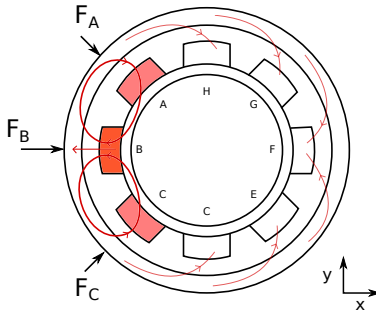
O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

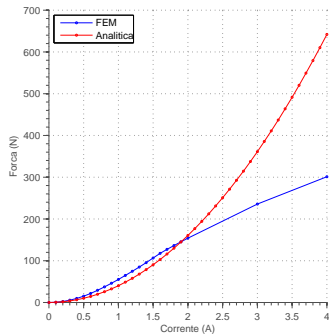
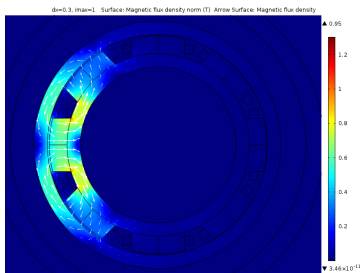
O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

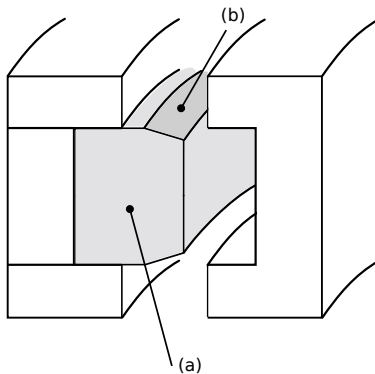
O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

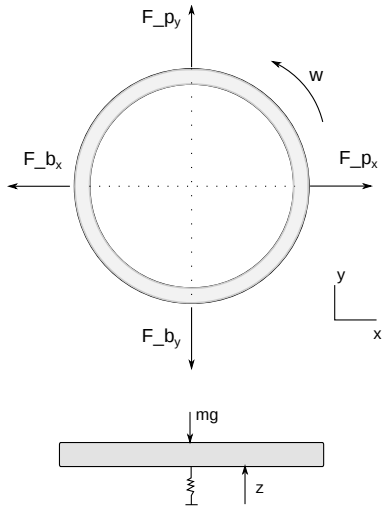
O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos

$$T_{\theta,x,y,z} = \frac{1}{2} I_z \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m (\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2)$$

$$V_z = m g z + \frac{1}{2} K z^2$$

$$L = T - V$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\partial L}{\partial \dot{r}} \right] - \frac{\partial L}{\partial r} = Q^{nc} + Q^c$$

→

$$I \ddot{\theta} = 0$$

$$m \ddot{x} = F_{px}(x, y) - F_{by}(x, y, i)$$

$$m \ddot{y} = F_{py}(x, y) - F_{bx}(x, y, i)$$

$$m \ddot{z} - Kz = mg$$

Introdução

Rodas de Reação

Revisão

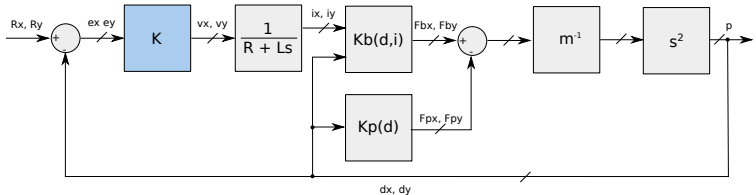
O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos



- ▶ modelo não linear das forças
- ▶ batente modelado como choque elástico
- ▶ força contra eletromotriz não modelada

Introdução

Rodas de Reação

Revisão

O mancal magnético

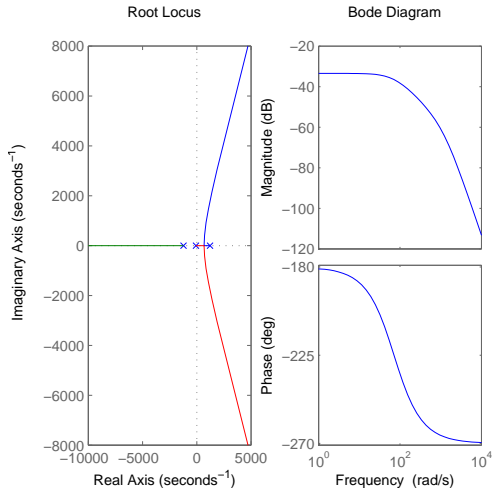
Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos

$$G_a(s) G_p(s) = \frac{46530}{0.02077s^3 + 1.478s^2 - 3.08e04s - 2.191e06}$$



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

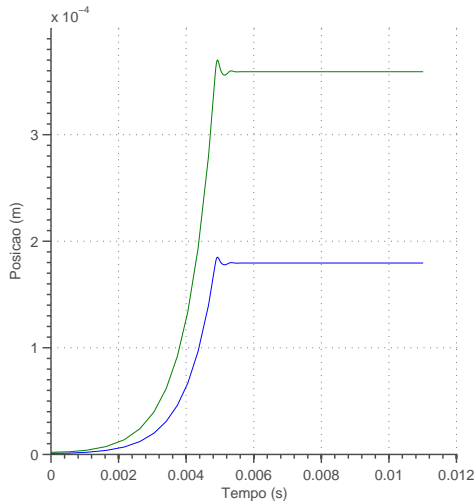
O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

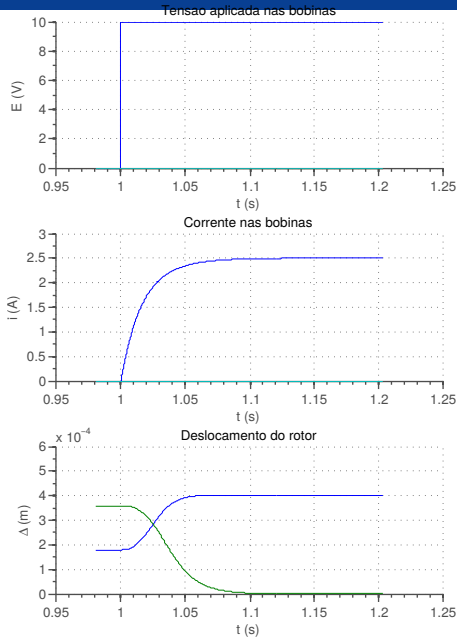
O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

O mancal magnético

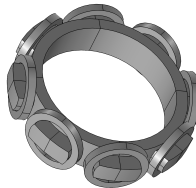
Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos

- ▶ usinagem das peças
 - ▶ ausência de pino guia
 - ▶ tolerância
- ▶ batente
- ▶ embobinamento dos polos
- ▶ validação do modelo com o protótipo
- ▶ medida de posição



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo

Dinâmico

Próximos passos



Introdução

Rodas de Reação

Revisão

O mancal magnético

Estator Interno

Estator Externo

Modelo Dinâmico

Próximos passos

- ▶ correção dos problemas mecânicos
- ▶ validação do modelo vs protótipo
- ▶ desenvolvimento do controlador
- ▶ forma de sensoramento
- ▶ desenvolvimento da eletrônica
- ▶ implementação e testes

Cronograma

O cronograma será seguido como descrito na Tab. 1 com as atividades detalhadas a seguir:

- projeto protótipo 2: projeto de nova mecânica dado as necessidades levantadas no primeiro protótipo;
- prototipagem mecânica : envio da peça para usinagem e acompanhamento;
- projeto do controlador : projetar controle para estabilização do mancal visando a implementação em eletrônica embarcada;
- validação do protótipo : validar o protótipo com o modelo em elementos finitos (forças);
- projeto eletrônica : projetar eletrônica (processamento, sensoramento e potência) com os requisitos levantados durante a pesquisa;
- prototipagem eletrônica : confecção e montagem de placa de circuito impresso além de compra de materiais;
- validação eletrônica : validar a eletrônica (programação do microprocessador, atuadores e sensores);
- validação do conjunto : implementação das leis de controle e teste do controle do mancal
- documentação : tempo reservado para a documentação e escrita da dissertação.

Bimestre	2014		2015			
	5º	6º	1º	2º	3º	4º
Projeto protótipo 2	x					
Prototipagem mecânica		x				
Projeto do controlador	x	x	x			
Validação do protótipo		x		x		
Projeto eletrônica			x	x		
Prototipagem eletrônica				x		
Validação eletrônica					x	
Validação do conjunto					x	x
Documentação						x

Figura 1: Cronograma proposto

Sumário Estruturado da Dissertação

1	Introdução	4
1.1	Objetivo	4
1.2	Justificativa	4
1.3	Revisão bibliográfica	4
1.3.1	Graus de liberdade	4
1.3.2	Topologias com aplicação em rodas de reação	4
1.3.3	Sensoriamento	4
1.3.4	Mancais auxiliares	4
1.3.5	Técnicas de controle	4
1.3.6	Macais magnéticos auto girantes	4
1.4	Metodologia	4
2	Mancal magnético	5
2.1	Visão Geral	5
2.2	Estator externo	5
2.3	Rotor	5
2.4	Estator interno	5
2.5	Batente	5
2.6	Base	5
2.7	Eletrônica	5
2.7.1	Atuador - Potência	5
2.7.2	Sensoreamento	5
2.7.3	Processamento	5
2.8	Prototipagem	5
3	Modelagem Eletromagnética do Mancal	6
3.1	Circuito passivo	6
3.1.1	Campo magnético no entreferro	6
3.1.2	Força	6
3.1.3	Escolha dos parâmetros	6
3.1.4	Simulações	6
3.1.5	Elementos Finitos	6
3.1.6	Validação	6
3.2	Circuito Ativo	6
3.2.1	Modelo sem saturação	6

3.2.2	Indutância	6
3.3	Escolha dos parâmetros	6
3.3.1	Simulações	6
3.3.2	Elementos Finitos	6
3.3.3	Validação	6
4	Modelagem Dinâmica	7
4.1	Rotor	7
4.2	Estator externo	7
4.3	Estator interno	7
4.3.1	Linearização da força	7
4.4	Característica do sistema e diagrama de blocos	7
4.5	Simulações	7
4.6	Validação	7
5	Projeto do controlador	8
5.1	Técnicas de controle	8
5.2	Simulações	8
5.3	Implementação	8
5.4	Validação	8
6	Conclusões	9