**Projeto de Pesquisa – CITAR**

**Tema: “Comparação entre Métodos para Cálculo da Indutância em Materiais Magnéticos”**

Beneficiário: Kevin Zezel Gomes

Orientador: Thiago Antonio Grandi de Tolosa

1. INTRODUÇÃO

Objetivo

Justificativa

Revisão Bibliográfica

1. METODOLOGIA

Equacionamento do Problema

Modelagem através do aplicativo COMSOL**®**

**Aplicação do resultado – Mancal Magnético**

1. **CRONOGRAMA**
2. **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**
3. **INTRODUÇÃO**

O indutor é um elemento usado em circuitos elétricos, eletrônicos e digitais com a função de acumular energia através de um campo magnético. O estudo do comportamento eletromagnético de indutores é de grande importância por permitir o desenvolvimento de aplicações em diversas áreas da Engenharia Elétrica, como o sensoriamento indutivo.

Os sensores indutivos ou sensores de proximidade indutivos são dispositivos utilizados em processos industriais, tendo grande importância na fabricação e operação de máquinas e equipamentos.

Sua tecnologia consiste, fundamentalmente, em um oscilador responsável por gerar um campo eletromagnético de alta frequência através de uma bobina ou indutor. O princípio de detecção do objeto metálico é devido à interação das linhas de campo com um objeto metálico posicionado próximo ao indutor, tal aproximação modifica a relutância magnética do sistema que pode ser detectado por um circuito externo.

**Objetivo**

O objetivo do presente trabalho é realizar estudos gerais referentes aos indutores, desde comportamentos eletromagnéticos até sua temperatura de operação, com ênfase no sensoriamento indutivo para diversas finalidades. Pretende-se utilizar alguns métodos de estudo desde simulações computacionais até modelos experimentais. A finalidade desse estudo tem como meta principal a análise e o mapeamento da influência da distância entre materiais magnéticos no cálculo da indutância de tal forma a fornecer parâmetros de controle envolvendo um sistema de mancal magnético ligado a uma roda de giração de um satélite.

**Justificativa**

Tendo em vista os crescentes avanços tecnológicos na área da Engenharia Elétrica, motivada pelas ações governamentais para o desenvolvimento científico do país, o tema proposto se insere plenamente no contexto tecnológico da atualidade.

Nota-se, pela revisão bibliográfica, que existem poucos estudos referentes à sensibilidade eletromagnética de indutores de forma geral, dessa forma neste trabalho serão estudados diversos parâmetros que podem interferir na precisão e na velocidade de resposta de sensores indutivos.

O tema proposto, alcançando qualidade e profundidade necessárias, se enquadra no estudo completo de comportamentos eletromagnéticos de indutores que poderá contribuir para a criação e o aperfeiçoamento de sensores indutivos para diversas aplicações no âmbito industrial e institucional.

**Revisão Bibliográfica Inicial**

A seguir são analisadas, de forma preliminar, referências bibliográficas referentes ao tema abordado neste trabalho. As referências são comentadas separadamente de acordo com a aplicação deste trabalho e com relação à metodologia adotada: Métodos analíticos de forma geral e no domínio da frequência, Métodos computacionais visando a utilização do *software* COMSOL**®** e comparação com métodos práticos experimentais.

Apesar da indutância não ser associada com materiais magnéticos e serem independentes do valor da corrente, dependem apenas da geometria do sistema, porém apenas nos casos mais simples estas constantes podem ser calculadas. Felizmente, a partir destas fórmulas básicas para casos ideais, fórmulas aplicáveis ​​à indutância se reúnem na prática, no qual, são definidas por meio de métodos sintéticos gerais. Um breve levantamento dos métodos utilizados para derivar as fórmulas básicas é apresentado por Grover em [1], após essa análise, são propostos métodos e procedimentos para a criação de soluções do problema para casos reais.

O *Massachusetts Institute of Technology* através do programa *MIT Open Course Ware* em [2], disponibiliza referências teóricas sobre a transformada de Laplace que será utilizada em análise de circuitos com indutores. Para tal estudo, estão disponibilizados materiais publicados por Boyd em [3] através da Universidade de Stanford.

O trabalho realizado por Son e Lee em [4], trata do estudo da temperatura do enrolamento de bobinas de alta densidade e de métodos para tal medição. Apesar de não serem utilizadas bobinas de grande densidade na aplicação deste trabalho, é de extrema importância mensurar sua temperatura, pois a bobina do sensor indutivo ficará exposta ao mancal magnético.

Em aplicações de sensoriamento indutivo é de grande relevância a necessidade de otimização do estudo, visando uma maior sensibilidade referente ao sensor. O estudo elaborado por Liangliang em [5] refere-se aos diversos tipos de matérias magnéticos que podem ser utilizados na construção do núcleo de um indutor. Seu trabalho revela ganhos de indutância referente á estes materiais e por fim é apresentado o de maior otimização.

No trabalho proposto por Chen em [6] é apresentada uma patente de sensoriamento indutivo capaz de mensurar a distância entre o “gap” referente ao sensor, com relação a qualquer metal a ser aproximado. Chen ainda apresenta um circuito capaz de realizar tais medições, no qual será utilizado como base de estudo.

A sensibilidade espacial, o efeito de filtragem espacial, características de resposta referente à frequência e larguras de banda são parâmetros importantes que influenciam na precisão e na velocidade de resposta de um sensor indutivo eletrostático. O trabalho de Chuanlong em [7] analisa diferentes tamanhos geométricos referentes a um sensor em forma de anel, tendo como análise principal métodos matemáticos.

1. **METODOLOGIA**

Inicialmente serão realizados estudos em indutores, destacando-se sua temperatura de operação, comportamentos eletromagnéticos, composição dos materiais em sua construção, dentre outros. Tais estudos serão de extrema importância para o cálculo de indutância e principalmente para à ênfase na aplicação deste trabalho: sensoriamento Indutivo.

A partir da determinação de todos estes parâmetros, será possível desenvolver com precisão sensores indutivos com diferentes características. Tais sensores serão modelados através de métodos analíticos, como estudos de circuitos no domínio da frequência e por fim serão modelados em um *software* de elementos finitos: COMSOL.

Com os modelos e os estudos prontos, será selecionado àquele modelo que melhor se adaptar, em termos de otimização, relativo a esta aplicação. Por fim, testes computacionais e práticos serão realizados em cima deste modelo viabilizando a instalação no mancal magnético.

1. **CRONOGRAMA**

* Estudo do problema e revisão bibliográfica
* Descrição da metodologia a ser aplicada
* Definição dos indutores, simulações de interesse e aplicação
* Análise dos resultados
* Conclusões e perspectivas futuras

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Jun**  **2014** | **Jul**  **2014** | **Ago**  **2014** | **Set**  **2014** | **Out**  **2014** | **Nov**  **2014** | **Dez**  **2014** | **Jan**  **2015** | **Fev**  **2015** | **Mar**  **2015** | **Abr**  **2015** | **Mai**  **2015** | **Jun**  **2015** |
| **Estudos Iniciais** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Metodologia** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Simulações de Interesse** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Análise dos Resultados** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Conclusões** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS INICIAIS**

[1] GROVER, F. ***Inductance Calculations,*** Dover Phoenix Editions, Cap.2, p.06, 2004.

[2] MATTUCK, A. ***Definition of Laplace Transform***, MIT Open Course Ware, Mar 2003.

[3] BOYD, S. ***Circuit analysis via Laplace Transform***, Stanford University.

[4] SON, K.T; LEE, C.C, ***Temperature measurement of high-density winding coils of electromagnets,*** Tyco Electron, Menlo Park, CA, USA, Jan 2012.

[5] LIANGLIANG, LI et all, ***On-Package magnetic materials for embedded inductor applications,***  International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging (ICEPT-HDP), p. 471-474, Aug 2009.

[6] CHEN W. ***Inductive proximity sensor,*** BiBTeX (citação de patente), Nov. 1992.

[7] XU, C. ***Sensing characteristics of eletrostatic inductive sensor for flow parameters measurement of pneumatically conveyed particles,*** Key Laboratory of Clean Coal Power Generation and Combustion Technology of Ministry of Education, Southeast University, Nanjing 210096, China 2007.