

(Documento) apresentada à Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, como parte dos requisitos para obtenção do título de (Titulo) em Ciências no Curso de Engenharia Aeronáutica, Área de Sistemas Aeroespaciais e Mecatrônica.

João Paulo de Souza Oliveira

**MODELAGEM DE UM CONTROLADOR DE
ATUADOR ELETROHIDRÁULICO PARA
ESTIMATIVA DE DEMANDA DE POTÊNCIA
ELÉTRICA, FATOR DE POTÊNCIA E *TOTAL
HARMONIC DISTORTION***

(Documento) aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:

Prof. Dr. Roberto D'amore

Orientador

Eng. MSc. Andre Domingues Rocha de Oliveira

Coorientador

Prof. Dr. John von Neumann

Pró-Reitor de Pós-Graduação e Pesquisa

Campo Montenegro
São José dos Campos, SP - Brasil
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão Biblioteca Central do ITA/CTA

de Souza Oliveira, João Paulo
Modelagem de um Controlador de Atuador Eletrohidráulico para Estimativa de Demanda de Potência Elétrica, Fator de Potência e *Total Harmonic Distortion* / João Paulo de Souza Oliveira. São José dos Campos, 2015.
25f.

(Documento) de – Curso de Engenharia Aeronáutica. Área de Sistemas Aeroespaciais e Mecatrônica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2015. Orientador: Prof. Dr. Roberto D'amore. Coorientador: Eng. MSc. Andre Domingues Rocha de Oliveira.

1. Cupim. 2. Dilema. 3. Construção. I. Centro Técnico Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Mecânica. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DE SOUZA OLIVEIRA, João Paulo. **Modelagem de um Controlador de Atuador Eletrohidráulico para Estimativa de Demanda de Potência Elétrica, Fator de Potência e *Total Harmonic Distortion***. 2015. 25f. (Documento) de – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: João Paulo de Souza Oliveira

TÍTULO DO TRABALHO: Modelagem de um Controlador de Atuador Eletrohidráulico para Estimativa de Demanda de Potência Elétrica, Fator de Potência e *Total Harmonic Distortion*.

TIPO DO TRABALHO/ANO: (Documento) / 2015

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias desta (Documento) e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta (Documento) pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

João Paulo de Souza Oliveira
Av. Cidade Jardim, 679
CEP 12.233-066 – São José dos Campos–SP

**MODELAGEM DE UM CONTROLADOR DE
ATUADOR ELETROHIDRÁULICO PARA
ESTIMATIVA DE DEMANDA DE POTÊNCIA
ELÉTRICA, FATOR DE POTÊNCIA E *TOTAL
HARMONIC DISTORTION***

João Paulo de Souza Oliveira

Composição da Banca Examinadora:

| | | | | |
|-----------|-----------------------------------|--------------|---|---------|
| Prof. Dr. | Alan Turing | Presidente | - | ITA |
| Prof. Dr. | Roberto D'amore | Orientador | - | ITA |
| Eng. MSc. | Andre Domingues Rocha de Oliveira | Coorientador | - | Embraer |
| Prof. Dr. | Linus Torwald | | - | UXXX |
| Prof. Dr. | Richard Stallman | | - | UYYY |
| Prof. Dr. | Donald Duck | | - | DYSNEY |
| Prof. Dr. | Mickey Mouse | | - | DISNEY |

Aos esforçados alunos de Pós-Graduação do ITA, por criarem este magnífico template L^AT_EX, permitindo que eu ficasse ainda mais longe do Word :-)

E a um cara do INPE, que apesar de já ser doutor, ainda se rebaixa a essas coisas de mexer com templates :O).....(Agradeça até ao seu animal de estimação, caso queira.) João

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Dr. Donald E. Knuth,
por ter desenvolvido o T_EX.

Ao Dr. Leslie Lamport,
por ter criado o L^AT_EX, facilitando muito a utilização do T_EX, e assim, eu não ter que
usar o Word.

Ao Prof. Dr. Meu Orientador,
pela orientação e confiança depositada na realização deste trabalho.

Ao Dr. Nelson D'Ávila,
por emprestar seu nome a essa importante via de trânsito na cidade de São José dos
Campos.

Ah, já estava esquecendo... agradeço também, mais uma vez ao T_EX,
por ele não possuir vírus de macro :-)

*“The mind that opens to a new idea
never returns to its original size.”*

— ALBERT EINSTEIN

Resumo

Aqui começa o resumo do referido trabalho. Não tenho a menor idéia do que colocar aqui. Sendo assim, vou inventar. Lá vai: Este trabalho apresenta uma metodologia de controle de posição das juntas passivas de um manipulador subatuado de uma maneira subótima. O termo subatuado se refere ao fato de que nem todas as juntas ou graus de liberdade do sistema são equipados com atuadores, o que ocorre na prática devido a falhas ou como resultado de projeto. As juntas passivas de manipuladores desse tipo são indiretamente controladas pelo movimento das juntas ativas usando as características de acoplamento da dinâmica de manipuladores. A utilização de redundância de atuação das juntas ativas permite a minimização de alguns critérios, como consumo de energia, por exemplo. Apesar da estrutura cinemática de manipuladores subatuados ser idêntica a do totalmente atuado, em geral suas características dinâmicas diferem devido a presença de juntas passivas. Assim, apresentamos a modelagem dinâmica de um manipulador subatuado e o conceito de índice de acoplamento. Este índice é utilizado na sequência de controle ótimo do manipulador. A hipótese de que o número de juntas ativas seja maior que o número de passivas ($n_a > n_p$) permite o controle ótimo das juntas passivas, uma vez que na etapa de controle destas há mais entradas (torques nos atuadores das juntas ativas), que elementos a controlar (posição das juntas passivas).

Abstract

Well, the book is on the table. This work presents a control methodology for the position of the passive joints of an underactuated manipulator in a suboptimal way. The term underactuated refers to the fact that not all the joints or degrees of freedom of the system are equipped with actuators, which occurs in practice due to failures or as design result. The passive joints of manipulators like this are indirectly controlled by the motion of the active joints using the dynamic coupling characteristics. The utilization of actuation redundancy of the active joints allows the minimization of some criteria, like energy consumption, for example. Although the kinematic structure of an underactuated manipulator is identical to that of a similar fully actuated one, in general their dynamic characteristics are different due to the presence of passive joints. Thus, we present the dynamic modelling of an underactuated manipulator and the concept of coupling index. This index is used in the sequence of the optimal control of the manipulator.

Sumário

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| LISTA DE TABELAS | xii |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | xiii |
| LISTA DE SÍMBOLOS | xiv |
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 Motivação | 15 |
| 1.2 Objetivo | 15 |
| 1.3 Contribuição | 15 |
| 2 QUALIDADE DE ENERGIA EM AERONAVES | 17 |
| 2.1 Conversores com Alto Fator de Potência | 18 |
| 2.2 Filtros Passivos | 18 |
| 2.3 Filtros Ativos | 18 |
| 3 FILTROS ATIVOS EM SISTEMAS ELÉTRICOS | 19 |
| 3.1 Definição de Potência Ativa, Reativa e Fator de Potência | 19 |
| 3.1.1 Definição de Potências em Sistemas Senoidais | 19 |
| 3.1.2 Definição de Potências em Sistemas Não-Senoidais | 19 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.1.3 | Potência Instantânea Utilizando a Teoria P-Q | 19 |
| 3.2 | Filtros Ativos | 19 |
| 3.2.1 | Filtros Ativo Empregando a Teoria P-Q | 19 |
| 4 | CONCEITO DE CONVERSOR ESTÁTICO NA APLICAÇÃO DE FIL- TROS ATIVOS | 20 |
| 5 | CONCLUSÃO | 21 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 22 |
| | APÊNDICE A – TÓPICOS DE DILEMA LINEAR | 23 |
| A.1 | Uma Primeira Seção para o Apêndice | 23 |
| | ANEXO A – EXEMPLO DE UM PRIMEIRO ANEXO | 24 |
| A.1 | Uma Seção do Primeiro Anexo | 24 |
| | ANEXO B – TO USANDO CRAQUE | 25 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| FIGURA 1.1 – Proibido estacionar cupins. Legenda grande, com o objetivo de demonstrar a indentação na lista de figuras. | 16 |
| FIGURA A.1 – Uma figura que está no apêndice | 23 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| TABELA 1.1 – exemplo de tabela | 15 |
|--|----|

Lista de Abreviaturas e Siglas

| | |
|--------|-------------------------------------|
| MEA | More Electric Aircraft |
| CTq | computed torque |
| DC | direct current |
| EAR | Equação Algébrica de Riccati |
| GDL | graus de liberdade |
| ISR | interrupção de serviço e rotina |
| LMI | linear matrices inequalities |
| MIMO | multiple input multiple output |
| PD | proporcional derivativo |
| PID | proporcional integrativo derivativo |
| PTP | point to point |
| UARMII | Underactuated Robot Manipulator II |
| VSC | variable structure control |

Lista de Símbolos

| | |
|------------------|--|
| a | Escalar |
| \mathbf{a} | Vetor |
| a_1 | Primeiro componente de \mathbf{a} |
| $a_{1,k}$ | Primeiro componente de \mathbf{a}_k |
| \mathbf{A} | Matriz |
| \mathbf{e}_j | Vetor unitário de dimensão n e com o j -ésimo componente igual a 1 |
| δ_{k-k_f} | Delta de Kronecker delta no instante k_f |

1 Introdução

5 Págs

1.1 Motivação

1.2 Objetivo

1.3 Contribuição

| | |
|----|----|
| po | 1 |
| lo | 23 |

TABELA 1.1 – exemplo de tabela



FIGURA 1.1 – Proibido estacionar cupins. Legenda grande, com o objetivo de demonstrar a indentação na lista de figuras.

2 Qualidade de Energia em Aeronaves

30 Págs

O mercado da aviação tem passado por uma mudança nos preceitos de desenvolvimento de sistemas que vão desde a utilização de novas tecnologias embarcadas até a mudança na concepção de operação da aeronave. Essa tendência vem ocorrendo de maneira natural como evolução do mercado pela demanda de aeronaves mais eficientes e competitivas. Nesse contexto há o conceito de *More Electric Aircraft* (MEA). Como o próprio nome diz, essa concepção baseia-se em aeronaves cuja filosofia de projeto contempla o uso abundante de sistemas alimentados eletricamente com o objetivo de aumentar a eficiência.

Dá de encher mais linguça pelas referencias Abdelhafez2009

Isso pode ser visto nos mais recentes desenvolvimentos de aeronaves, como por exemplo o Boeing 787, onde a redução da emissão de CO₂ é 20% menor se comparado com o Boeing 767. [1]. O ganho não se dá apenas na redução do consumo de combustível e emissão de gases pela queima de combustíveis fósseis, mas há também a redução de peso e volume de sistemas, aumento de segurança, melhora na confiabilidade e manutenabilidade [1, 2].

Nesse contexto, a geração de energia elétrica

Assim, o uso de conversores para alimentar cargas nao lineares vem poluindo a rede

o uso de cargas nao lineares suja a rede, degradando a qualidade de energia

os problemas da energia suja são

metodos são necessários para mitigar esse problema

2.1 Conversores com Alto Fator de Potência

2.2 Filtros Passivos

2.3 Filtros Ativos

3 Filtros Ativos Em Sistemas Elétricos

30 Págs

3.1 Definição de Potência Ativa, Reativa e Fator de Potência

blbalbablablablablabal

3.1.1 Definição de Potências em Sistemas Senoidais

3.1.2 Definição de Potências em Sistemas Não-Senoidais

3.1.3 Potência Instantânea Utilizando a Teoria P-Q

3.1.3.1 Transformada de Clarke

3.2 Filtros Ativos

3.2.1 Filtros Ativo Empregando a Teoria P-Q

4 Conceito de Conversor Estático na Aplicação de Filtros Ativos

40 Págs

5 Conclusão

5 Págs

Referências Bibliográficas

- [1] KARIMI, K. J. *Future Aircraft Power Systems - Integration Challenges*. [S.l.]: The Boeing Company, 2007.
- [2] ABDELHAFEZ, A.; FORSYTH, A. A review of more-electric aircraft. In: *13th International Conference on Aerospace Science & Aviation Technology (ASAT-13)*. Cairo: Military Technical College, 2009.

Apêndice A - Tópicos de Dilema Linear

A.1 Uma Primeira Seção para o Apêndice

A matriz de Dilema Linear M e o vetor de torques inerciais b , utilizados na simulação são calculados segundo a formulação abaixo:

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \quad (\text{A.1})$$



FIGURA A.1 – Uma figura que está no apêndice

Anexo A - Exemplo de um Primeiro Anexo

A.1 Uma Seção do Primeiro Anexo

Algum texto na primeira seção do primeiro anexo.

Anexo B - To usando craque

to usando craque

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

| | | | |
|---|--------------------------------|---|------------------------|
| 1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TD | 2. DATA 25 de março de 2015 | 3. DOCUMENTO Nº DCTA/ITA/TD-018/2015 | 4. Nº DE PÁGINAS 25 |
| 5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Modelagem de um Controlador de Atuador Eletrohidráulico para Estimativa de Demanda de Potência Elétrica, Fator de Potência e <i>Total Harmonic Distortion</i> | | | |
| 6. AUTOR(ES): João Paulo de Souza Oliveira | | | |
| 7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA | | | |
| 8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Cupim; Cimento; Estruturas | | | |
| 9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Cupim; Dilema; Construção | | | |
| 10. APRESENTAÇÃO: <input checked="" type="checkbox"/> Nacional <input type="checkbox"/> Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica. Área de Sistemas Aeroespaciais e Mecatrônica. Orientador: Prof. Dr. Adalberto Santos Dupont. Defesa em 05/03/2015. Publicada em 25/03/2015. | | | |
| 11. RESUMO: Aqui começa o resumo do referido trabalho. Não tenho a menor idéia do que colocar aqui. Sendo assim, vou inventar. Lá vai: Este trabalho apresenta uma metodologia de controle de posição das juntas passivas de um manipulador subatuado de uma maneira subótima. O termo subatuado se refere ao fato de que nem todas as juntas ou graus de liberdade do sistema são equipados com atuadores, o que ocorre na prática devido a falhas ou como resultado de projeto. As juntas passivas de manipuladores desse tipo são indiretamente controladas pelo movimento das juntas ativas usando as características de acoplamento da dinâmica de manipuladores. A utilização de redundância de atuação das juntas ativas permite a minimização de alguns critérios, como consumo de energia, por exemplo. Apesar da estrutura cinemática de manipuladores subatuados ser idêntica a do totalmente atuado, em geral suas características dinâmicas diferem devido a presença de juntas passivas. Assim, apresentamos a modelagem dinâmica de um manipulador subatuado e o conceito de índice de acoplamento. Este índice é utilizado na sequência de controle ótimo do manipulador. A hipótese de que o número de juntas ativas seja maior que o número de passivas ($n_a > n_p$) permite o controle ótimo das juntas passivas, uma vez que na etapa de controle destas há mais entradas (torques nos atuadores das juntas ativas), que elementos a controlar (posição das juntas passivas). | | | |
| 12. GRAU DE SIGILO: <input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO <input type="checkbox"/> RESERVADO <input type="checkbox"/> CONFIDENCIAL <input type="checkbox"/> SECRETO | | | |