

**Marcia Regina Werner Schneider Abdala
(Organizadora)**

**A Aplicação do
Conhecimento
Científico nas
Engenharias 2**

Atena
Editora

Ano 2019

Marcia Regina Werner Schneider Abdala
(Organizadora)

A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A642 A aplicação do conhecimento científico nas engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-245-6

DOI 10.22533/at.ed.456190504

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovação. I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.0072

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O conhecimento científico é extremamente importante na vida do ser humano e da sociedade, pois possibilita entender como as coisas funcionam ao invés de apenas aceita-las passivamente. Mediante o conhecimento científico é possível provar muitas coisas, já que busca a veracidade através da comprovação.

Sendo produzido pela investigação científica através de seus procedimentos, surge da necessidade de encontrar soluções para problemas de ordem prática da vida diária e para fornecer explicações sistemáticas que possam ser testadas e criticadas através de provas. Por meio dessa investigação, obtêm-se enunciados, leis, teorias que explicam a ocorrência de fatos e fenômenos associados a um determinado problema, sendo possível assim encontrar soluções ou, até mesmo, construir novas leis e teorias.

Possibilitar o acesso ao conhecimento científico é de suma importância para a evolução da sociedade e do ser humano em si, pois através dele adquirem-se novos pontos de vista, conceitos, técnicas, procedimentos e ferramentas, proporcionando o avanço na construção do saber em uma área do conhecimento.

Na engenharia evidencia-se a relevância do conhecimento científico, pois o seu desenvolvimento está diretamente relacionado com o progresso e disseminação deste conhecimento.

Neste sentido, este E-book, composto por dois volumes, possibilita o acesso as mais recentes pesquisas desenvolvidas na área de Engenharia, demonstrando a importância do conhecimento científico para a transformação social e tecnológica da sociedade.

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O BRASIL SABE PLANEJAR?	
Thiago de Oliveira Lima Brandão	
DOI 10.22533/at.ed.4561904041	
CAPÍTULO 2	4
A CONTRIBUIÇÃO DA ACREDITAÇÃO HOSPITALAR PARA A MELHORIA DOS SERVIÇOS DE ASSISTÊNCIA À SAÚDE	
Tatyana Karla Oliveira Regis	
Sablina Cibele Fernandes Alves	
DOI 10.22533/at.ed.4561904042	
CAPÍTULO 3	15
SÍNDROME DE BURNOUT: NOVOS DESAFIOS PARA GESTÃO DE FUNCIONÁRIOS DE MANUTENÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO	
Luís L'Aiglon Pinto Martins	
DOI 10.22533/at.ed.4561904043	
CAPÍTULO 4	26
TEORIA DAS FILAS PARA DIMENSIONAMENTO DE ATENDENTES EM EMPRESA DE SOFTWARE	
Ivete Linn Ruppenthal	
Fernanda Klein Both	
Fabrício Desbessel	
João Serafim Tusi da Silveira	
DOI 10.22533/at.ed.4561904044	
CAPÍTULO 5	42
QUALIFICAÇÃO DE FORNECEDORES EM UMA INDÚSTRIA DO RAMO ALIMENTÍCIO	
Jeova Santos Gonçalves	
Larisse Oliveira Costa	
DOI 10.22533/at.ed.4561904045	
CAPÍTULO 6	46
UTILIZAÇÃO DA PESQUISA OPERACIONAL NA OTIMIZAÇÃO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS EM UM RESTAURANTE NO MUNICÍPIO DE SÃO GONÇALO DO AMARANTE, CEARÁ	
José Oliveira da Silva Júnior	
Kleison de Paiva Freitas	
DOI 10.22533/at.ed.4561904046	
CAPÍTULO 7	50
ESTUDO DE TEMPOS E MOVIMENTOS: CAPACIDADE PRODUTIVA DE UM ATELIÊ NO MUNICÍPIO DE XINGUARA-PA	
Thiago Dos Santos Paula	
Fábia Maria de Souza	
Waleriana Cavalcante Leão	
Mariele Ferreira Gonçalves	
Cristiano Carvalho da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.4561904047	

CAPÍTULO 8	62
ANÁLISE ERGONÔMICA DOS AGENTES DE LIMPEZA PÚBLICA DO CENTRO HISTÓRICO DE SÃO LUÍS -MA	
Karolayne Maria Viana Silva	
Basynga Franco da Silva	
Júlio César Moraes Vale	
José Ribamar Santos Moraes Filho	
DOI 10.22533/at.ed.4561904048	
CAPÍTULO 9	72
GESTÃO DE RISCOS DE RUPTURAS E ESTRATÉGIAS DE RESILIÊNCIA EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS	
Márcio Gonçalves dos Santos	
Rosane Lúcia Chicarelli Alcântara	
DOI 10.22533/at.ed.4561904049	
CAPÍTULO 10	87
MELHORIA DOS PROCESSOS PRODUTIVOS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE GESTÃO DE PRODUÇÃO: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO RAMO DE NAVEGAÇÃO	
Gabriel Lemos Ferreira	
Tábata Stephanie Vilela Morgado	
DOI 10.22533/at.ed.45619040410	
CAPÍTULO 11	98
AVANÇOS DA MANUTENÇÃO EM UMA OFICINA MECÂNICA DE UMA CONSTRUTORA	
Izac de Sousa Vieira	
José Weliton Nogueira Júnior	
Yuri José Luz Moura	
DOI 10.22533/at.ed.45619040411	
CAPÍTULO 12	103
DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO MARCADOR PARA PLANTIO DE FUMO	
Marlon Vinícius Medeiros	
João Pedro Brentano Uhry	
Anderson Creasso	
Alexandre Chapoval Neto	
DOI 10.22533/at.ed.45619040412	
CAPÍTULO 13	115
CONTROLE E MONITORAMENTO DE CARGAS COM SISTEMA SCADABR E ARDUINO	
Chagas Carvalho Teixeira de Oliveira Junior	
DOI 10.22533/at.ed.45619040413	
CAPÍTULO 14	128
ANÁLISE DE POTENCIAL EÓLICO UTILIZANDO O SOFTWARE WASP E DADOS DE MEDIÇÃO DE ANEMÔMETRO DE TORRES METEOROLÓGICAS	
Francisco Jeandson Rodrigues da Silva	
Magna Livia Neco Rabelo	
Antonio Marcos Teixeira	
Antônio Wellington Vaz dos Santos	
José Neurismar Bezerra de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.45619040414	

CAPÍTULO 15 135

USO DO SISTEMA GOD PARA DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO À CONTAMINAÇÃO EM MARAU – RS

Gabriel D'Ávila Fernandes
Willian Fernando de Borba
Lueni Gonçalves Terra
José Luiz Silvério da Silva
Éricklis Edson Boito de Souza
Mirta Teresinha Petry

DOI 10.22533/at.ed.45619040415

CAPÍTULO 16 144

VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO À CONTAMINAÇÃO NO MUNICÍPIO DE ELDORADO DO SUL-RS

Gabriel D'Ávila Fernandes
Willian Fernando de Borba
José Luiz Silvério da Silva
Gustavo Rinaldo Scaburi
Pedro Daniel da Cunha Kemerich
Éricklis Edson Boito de Souza
Jennyfer Selong Redel

DOI 10.22533/at.ed.45619040416

CAPÍTULO 17 150

UTILIZAÇÃO DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA (LPA) NO CONTROLE DE BOMBAS DE SANGUE DE FLUXO CONTÍNUO

Gabriel Furlan
Tarcisio Fernandes Leão
José William Rodrigues Pereira
Victor Freitas Souto
Eduardo Guy Perpétuo Bock

DOI 10.22533/at.ed.45619040417

CAPÍTULO 18 162

CONFECÇÃO DE BIOMODELOS PARA PACIENTES RECÉM-NASCIDOS E CRIANÇAS MAIORES COM COARCTAÇÃO DA AORTA

Rosana Nunes dos Santos
Vinicius Oliveira Nascimento Louro
Nadine Rubliauskas Wahbe
Tiago Senra Garcia dos Santos
Aron José Pazin de Andrade
Bruno Utiyama da Silva
Carlos Augusto Cardoso Pedra

DOI 10.22533/at.ed.45619040418

CAPÍTULO 19 173

CONTROLE DO CONVERSOR BUCK PARA MÓDULOS DA CADEIRA DE RODAS COM USO DE LMIs

Ruberlei Gaino
Márcio Roberto Covacic
Rodrigo da Ponte Caun
Pedro Henrique Bonilha Mantovani

DOI 10.22533/at.ed.45619040419

CAPÍTULO 20 186

METODOLOGIA PARA A CRIAÇÃO DE UMA ROTINA DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA EM IMPLANTES DE QUADRIL

Jorge Arturo Hinostroza Medina

Bianca Aleixo

Claudio Teodoro dos Santos

Rafael de Abreu Vinhosa

Mauricio de Jesus Monteiro

Ieda Vieira Caminha

André Maués Brabo Pereira

DOI 10.22533/at.ed.45619040420

CAPÍTULO 21 199

DESENVOLVIMENTO DE UM ELETROMIÓGRAFO PARA AVALIAR PADRÕES DE RESPOSTAS MUSCULARES E EFICÁCIA DE TRATAMENTOS

Suany dos Santos Chagas

Deriks Karlay Dias Costa

Wellington José Figueiredo de Lima

Luciana de Azevedo Vieira

Rildo Cesar Dias Arrifano

Kleiber Tenório de Sousa

DOI 10.22533/at.ed.45619040421

SOBRE A ORGANIZADORA..... 212

CONTROLE DO CONVERSOR BUCK PARA MÓDULOS DA CADEIRA DE RODAS COM USO DE LMIS

Ruberlei Gaino

Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Engenharia Elétrica
Londrina – PR

Márcio Roberto Covacic

Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Engenharia Elétrica
Londrina – PR

Rodrigo da Ponte Caun

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Apucarana – PR

Pedro Henrique Bonilha Mantovani

(PIBIC/CNPq-UEL)

Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Engenharia Elétrica
Londrina – PR

RESUMO: Este trabalho propõe o estudo de um conversor Buck abaixador de tensão DC/DC que utiliza leis de controle em malha fechada a fim de auxiliar em uma minimização do erro de saída. A técnica de controle utilizada foi a das Desigualdades Matriciais Lineares (em inglês, *Linear Matrix Inequalities*, LMIs) que auxiliou na obtenção de um controlador que minimizasse este erro na saída, ou seja, deixando-o estável. Este conversor atua como uma interface para o acréscimo de qualquer módulo a ser iniciado com uma tensão inferior a 12V, referente às baterias que servem de alimentação para uma

cadeira de rodas acionada por sopro e sucção que auxilia na reabilitação de paraplégicos e na locomoção de tetraplégicos. O trabalho foi desenvolvido com o auxílio do software Matlab/Simulink que permite interagir os conceitos da teoria de controle em uma única plataforma.

PALAVRAS-CHAVE: Conversor Buck, Matlab, LMI, Espaço de Estados.

ABSTRACT: This work proposes the study of a Buck converter, DC / DC step-down voltage that use control laws in closed loop, in order to assist in minimizing the output error. The control technique used was the Linear Matrix Inequalities (LMIs) which helped in the finding of a controller that minimizes this error in the output. This converter acts as an interface for adding module to be started at a lower voltage to 12V, referring to batteries that serve as food for a wheelchair that is thrown blow and suction which aids in the rehabilitation of paraplegics and locomotion of quadriplegics. The work was developed with the assistance of Matlab / Simulink that allows us to interact the control theory of concepts in a single platform.

KEYWORDS: Buck converter, LMI, Matlab, State space.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 Funcionamento do Conversor Buck DC-DC

O conversor Buck DC-DC é um conversor abaixador de tensão que trabalha produzindo um valor médio de tensão de saída inferior ao valor médio da tensão de entrada, enquanto a corrente média de saída tem um valor superior ao valor da corrente média de entrada, tendo um comportamento consequente ao princípio de conservação de energia (MARTINS, BARBI, 2006).

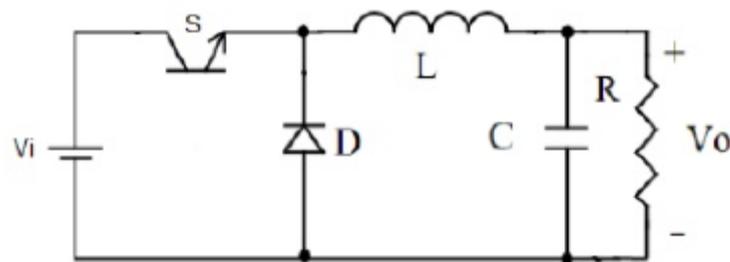


Figura 1 - Circuito do conversor Buck DC-DC

Como visto na Figura 1 o conversor basicamente consiste em uma fonte de alimentação de corrente contínua (V_i), uma chave (S), um diodo (D), um indutor (L), um capacitor (C) e uma carga (R), onde é medida a tensão de saída.

Para calcular o valor médio da tensão de carga ($V_{Rméd}$) utiliza-se a equação (1):

$$V_{Rméd} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{(R(t))} dt = \frac{1}{T} \int_0^{tc} E dt = \frac{tc}{T} E \quad (1)$$

na qual ($T = tc + ta = 1/f$) é o período de chaveamento, tc é o tempo em que a chave S permanece conduzindo e ta é o tempo em que a chave permanece aberta.

No funcionamento do conversor são observados dois estágios, quando a chave está aberta e quando a chave está fechada. Na posição fechada, há uma polarização reversa do diodo, deste modo uma tensão é aplicada à carga e ao capacitor, carregando o capacitor. Com a chave aberta, não há tensão no circuito proveniente da fonte, portanto a corrente que circula no circuito é proveniente da descarga do capacitor. As duas possibilidades são mostradas na Figura 2.

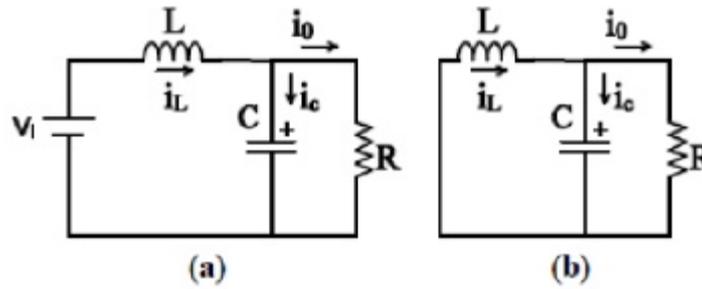


Figura 2 - Circuito equivalente do conversor Buck DC-DC. (a) Com a chave fechada. (b) Com a chave aberta.

A chave permanece fechada por um determinado tempo, denominado de razão cíclica ou *duty cycle*, sendo a relação da tensão de entrada pela tensão de saída dada pela equação (2):

$$D = \frac{tc}{T} = \frac{Vo}{Vi} \quad (2)$$

1.2 Cálculo da Lei de Controle Utilizando LMIs

De acordo com Dorf, Bishop (2001) e Ogata (2011), um sistema definido por variáveis de estado é descrito pelas equações:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad (3)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t), \quad (4)$$

onde $x(t)$ é o vetor com as variáveis de estado, $\dot{x}(t)$ é a derivada de $x(t)$ no tempo, $u(t)$ é a entrada do sistema e $y(t)$ é a saída do sistema.

Através do critério de Lyapunov, sabe-se que quando um sistema possui uma energia $V(x)$, o mesmo é assintoticamente estável se seguir as condições de que $V(x)$ seja definida positiva e a sua derivada $\dot{V}(x)$ seja definida negativa (AGUIRRE, 2007). Assim pode-se aplicar a função de Lyapunov quadrática representada por (5):

$$V(x) = x'Px \quad (5)$$

onde x' é o transposto de x e P uma matriz simétrica. Aplica-se, também, a sua derivada representada por (6):

$$\dot{x}Px + x'\dot{P}x + x'P\dot{x} = x'(A'P + PA)x \quad (6)$$

onde A é a matriz característica da representação do sistema em espaço de estados e A' é o transposto de A . Como P é uma matriz constante no tempo, sabe-se que $\dot{P} = 0$.

Desta forma através das LMIs representadas a seguir podemos representar um sistema assintoticamente estável seguindo o critério de Lyapunov. Estas LMIs são representadas por (7) e (8):

$$P > 0 \quad (7)$$

$$A'P + PA < 0 \quad (8)$$

Porém no caso da realimentação tem-se a condição (9):

$$u = K(x_d - x) = -Kx, \quad p/x_d = 0 \quad (9)$$

Desta forma, após a condição descrita referente à realimentação, são obtidas as LMIs:

$$P > 0 \quad (10)$$

$$(A - BK)'P + P(A - BK) < 0 \quad (11)$$

Reorganizando as equações e realizando algumas operações matemáticas na qual pode-se adotar $W = P^{-1}$ e $Z = K \cdot P^{-1}$ onde P^{-1} será o inverso da matriz P , são obtidas, finalmente, as LMIs para o sistema de malha fechada, dadas em (12) e (13):

$$W > 0 \quad (12)$$

$$WA' - Z'B' + AW - BZ < 0 \quad (13)$$

Por fim, após todas estas deduções, é possível projetar uma lei de controle que torna o sistema assintoticamente estável e, desta forma, é obtido o controlador com um ganho K que pode ser encontrado através de (14):

$$K = Z \cdot W^{-1} \quad (14)$$

1.3 Cadeira de Rodas

A cadeira de rodas na qual o conversor Buck é integrado trata-se de uma cadeira de rodas controlada por sopro e sucção, que é uma cadeira diferenciada desenvolvida para o auxílio de tetraplégicos. Geralmente, as manobras de uma cadeira de rodas elétrica é feita através de um *joystick*, porém o tetraplégico só tem o controle voluntário do músculo acima do pescoço, por isso foi utilizado um sensor colocado próximo a boca do usuário para que ele possa operá-la utilizando sopros e sucções. A cadeira possui dois motores de corrente contínua (DC) com acionamento independente, são

utilizados controladores PI para comandar os motores e um micro controlador para a interface com o usuário (GAINO et al., 2003).

Considerando uma função de transferência simplificada para os motores, onde E é a tensão da armadura, ω é a velocidade angular, K é o ganho, m é a relação entre o eixo do motor e da roda e T é a constante de tempo do motor, o motor é descrito por:

$$H(s) = \frac{\omega(s)}{E(s)} = K \frac{m}{Ts + 1} \quad (15)$$

A ação de controle de um controlador proporcional-e-integral (PI) é definida por (16).

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (16)$$

A função de transferência do controlador PI é dada por (17).

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (17)$$

onde T_i é chamado tempo integral e K_p representa o ganho proporcional. Tanto T_i como K_p são ajustáveis.

Implementando em *hardware* o controlador com o auxílio do Matlab/Simulink, o diagrama de blocos possui a estrutura mostrada na Figura 3 (GAINO et al., 2003).

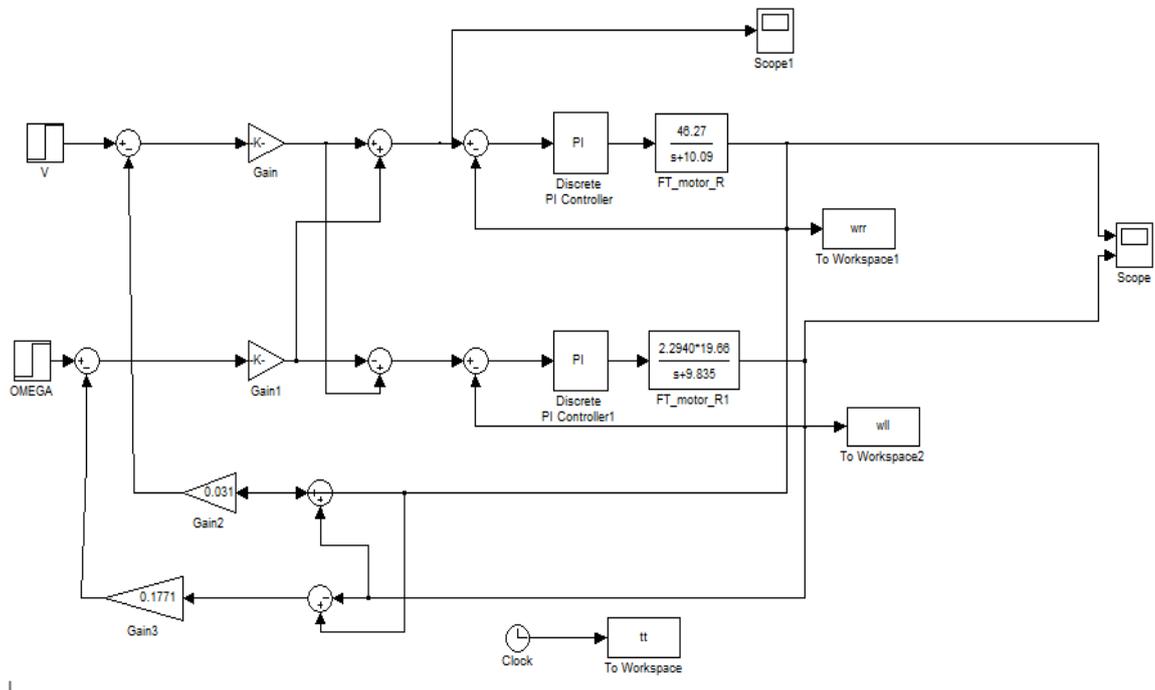


Figura 3 - Esquemático Simulink para o controle dos motores da cadeira de rodas (modificado de Gaiño et al. (2003).

2 | PARTICIPANTES E MÉTODOS

O *software* utilizado foi o Matlab, versão 2012a. Inicialmente, com o auxílio da teoria de espaço de estados foram encontradas as matrizes de estado do conversor Buck DC-DC, após isso com o auxílio do software Matlab foram aplicadas as LMIs sobre as matrizes de estado do conversor. Para isto foram utilizadas as LMIs da taxa de decaimento e do disco centrado em $(-q, 0)$ com raio r , com o intuito de encontrar um controlador que fizesse com que a resposta da saída ficasse estável em um tempo desejado. Estas LMIs são apresentadas na Seção 3. Por fim, para comprovar a estabilidade, foi obtida a resposta à condição inicial do sistema.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro objetivo do trabalho foi encontrar as matrizes de estado do conversor Buck DC-DC mostrado na Figura 4 abaixo:

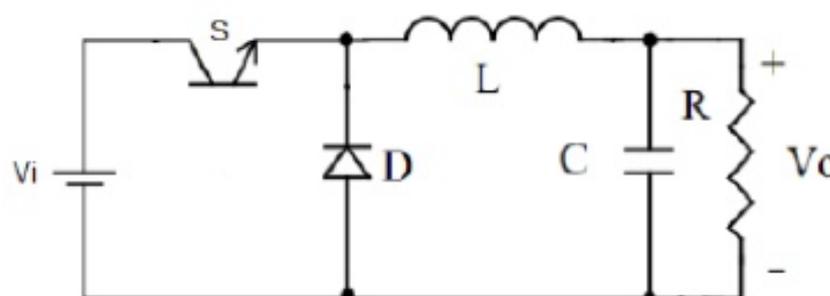


Figura 4 - Circuito do conversor Buck DC-DC

Resumindo o circuito da Figura 4, para facilitar os cálculos, considera-se o circuito representado na Figura 5 a seguir:

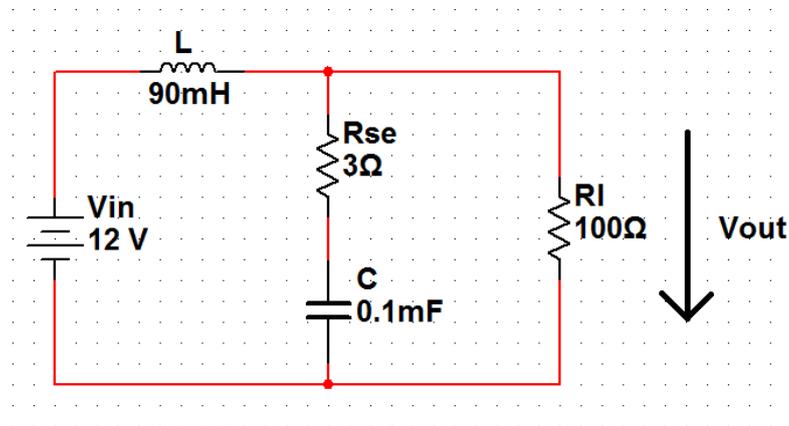


Figura 5 - Circuito do conversor Buck DC-DC estudado.

Na Figura 6, é mostrado Circuito de controle do conversor Buck, desenvolvido no laboratório por Rodrigo da Ponte Caun.

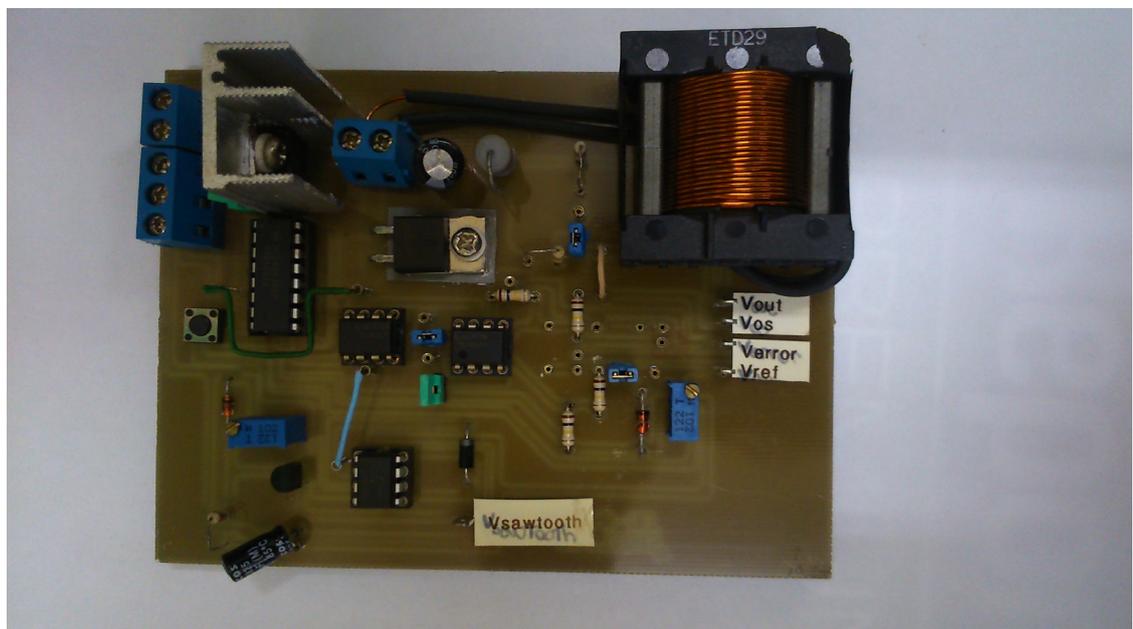


Figura 6 - Circuito de controle do conversor Buck, desenvolvido no laboratório por Rodrigo da Ponte Caun.

Analisando o circuito e aplicando as equações de estado, são realizados os seguintes cálculos para a entrada:

$$V_{in} = L \frac{di(t)}{dt} + R_L \left[i(t) - C \frac{dV_C(t)}{dt} \right] \quad (18)$$

$$V_C(t) + C R_{se} \frac{dV_C(t)}{dt} = R_L \left[i(t) - C \frac{dV_C(t)}{dt} \right] \quad (19)$$

sendo $x_1 = i(t)$, representado pela corrente que passa pelo indutor (L) no circuito da Figura 5 e $x_2 = V_C(t)$, representado pela tensão em cima do capacitor (C) na mesma figura, resultando-se em:

$$\begin{cases} V_{in} = L\dot{x}_1 + R_L(x_1 - C\dot{x}_2) \\ x_2 + CR_{se}\dot{x}_2 = R_L(x_1 - C\dot{x}_2) \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -\frac{1}{L} \frac{R_{se} R_L x_1}{(R_{se} + R_L)} + \frac{1}{L} \frac{R_L x_2}{(R_{se} + R_L)} + \frac{1}{L} V_{in} \\ \dot{x}_2 = x_1 \frac{R_L}{C(R_{se} + R_L)} - \frac{x_2}{C(R_{se} + R_L)} \end{cases} \quad (21)$$

Então, passando as equações do sistema acima para o sistema matricial, tem-se:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \frac{R_{se} R_L}{(R_{se} + R_L)} & \frac{1}{L} \frac{R_L}{(R_{se} + R_L)} \\ \frac{R_L}{C(R_{se} + R_L)} & -\frac{1}{C(R_{se} + R_L)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_{in} \quad (22)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -32,36 & 10,79 \\ 9708,74 & 97,09 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 11,11 \\ 0 \end{bmatrix} V_{in} \quad (23)$$

Assim, os cálculos para a saída resultam em:

$$V_{out} = R_L(x_1 - C\dot{x}_2) \quad (24)$$

$$V_{out} = R_L \left(\frac{R_{se} x_1}{R_{se} + R_L} + \frac{x_2}{R_{se} + R_L} \right) \quad (25)$$

Passando para o sistema matricial tem-se:

$$y = \begin{bmatrix} \frac{R_L R_{se}}{R_{se} + R_L} & \frac{R_L}{R_{se} + R_L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$y = [2,91 \quad 0,97] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (27)$$

Finalmente, o sistema referente ao conversor Buck é descrito pelas equações (3) e (4), cujas matrizes são:

$$A = \begin{bmatrix} -32,36 & 10,79 \\ 9708,74 & 97,09 \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$B = \begin{bmatrix} 11,11 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$C = [2,91 \quad 0,97] \quad (30)$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (31)$$

Para encontrar o controlador, foi utilizada a técnica de controle da realimentação de estados, que pode ser ilustrada através da Figura 7:

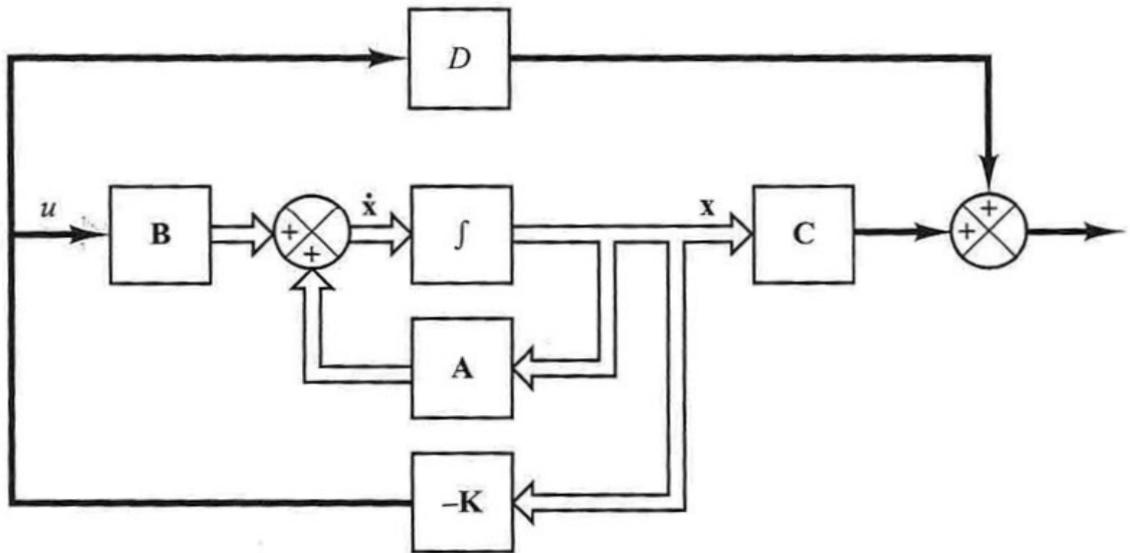


Figura 7 - Sistema de controle de malha fechada com $u=-Kx$.

Desta forma, através da técnica LMIs, dentro deste amplo conceito, foi utilizado como critério de índice de desempenho uma taxa de decaimento de $g=10$, de acordo com as seguintes LMIs (32) e (33):

$$W > 0 \quad (32)$$

$$WA' - Z'B' + AW - BZ < -2\gamma W \quad (33)$$

Define-se, também, um raio $r=5$ referente ao disco centrado em $(-q,0)$ de acordo a seguinte LMI (34):

$$\begin{bmatrix} -rX & q + AX \\ q + XA' & -rX \end{bmatrix} < 0 \quad (34)$$

Assim, o ganho do controlador K obtido foi:

$$K = [75416 \quad 885] \quad (35)$$

A ferramenta computacional utilizada nos cálculos foi o *software* MATLAB versão R2012a e o *script* (código) desenvolvido para gerar estes resultados é mostrado no Apêndice A, com todas as LMIs aplicadas e calculadas e por consequência o cálculo da matriz K do controlador.

Com o controlador encontrado o passo seguinte foi fazer os testes para saber se ele satisfazia a resposta em saída do sistema que era esperada. Para isto, como teste, foi utilizada a resposta à condição inicial, ou seja, para obter a resposta a uma dada condição inicial $x(0)$, foi substituído $u = -K \cdot x$ na equação da planta, de acordo com (36):

$$\dot{x} = (A - BK)x, \quad x(0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (36)$$

Foram, então, obtidas as curvas de respostas x_1 versus t e x_2 versus t obtendo x_1 e x_2 da seguinte forma:

$$x_1 = [1 \quad 0]x' \quad (37)$$

$$x_2 = [0 \quad 1]x' \quad (38)$$

O *script* (código) de Matlab que tornou esta demonstração possível se encontra no Apêndice B e o gráfico da resposta à condição inicial obtido pode ser visualizado a partir da Figura 8 a seguir:

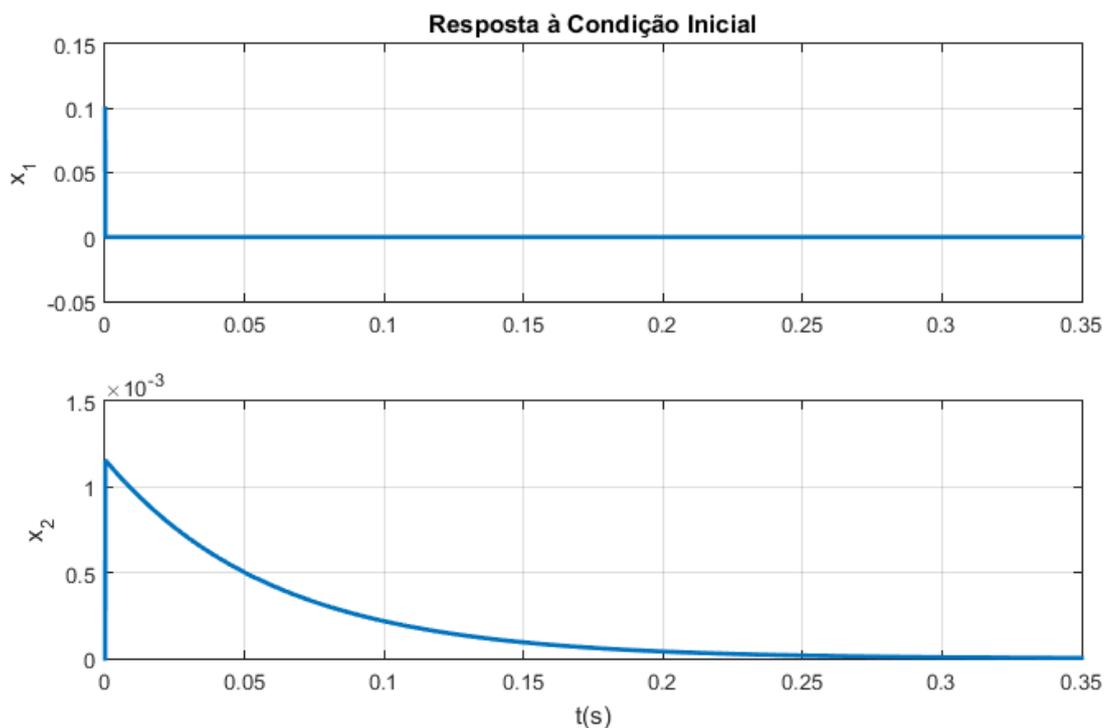


Figura 8 - Gráfico da resposta à condição inicial do sistema.

A partir do gráfico obtido, observa-se que o sistema após a adição do controlador se torna um sistema estável, onde x_1 se estabiliza muito rapidamente e x_2 se estabiliza após o tempo de 0,3s. Como resposta à condição inicial o sistema comporta-se corretamente, pois a convergência de $A - B.K$ vai a zero quando o tempo t tende para o infinito, provando o que a teoria nos afirma sobre um sistema estável.

4 | CONCLUSÕES

Após todos os processos e desenvolvimentos apresentados sobre o trabalho, pode-se concluir que a resposta de saída do conversor Buck DC-DC tornou-se perfeitamente estável.

Com o auxílio da técnica de controle por LMIs, através das matrizes de estado encontradas perante o conversor Buck DC-DC, foi encontrada uma matriz ganho K , que foi utilizada como controlador para o sistema, e após os testes perante a resposta à condição inicial foi contemplado que o sistema estava estabilizado devido à condição da convergência de $A-BK$ ir a zero de acordo com que o tempo tende para infinito, provando através da teoria que o sistema ficou estável.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à Fundação Araucária e à Universidade Estadual de Londrina (PROIC).

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, L. A., **Enciclopédia de automática: Controle e Automação**, volume 1, editores associados: BRUCIAPAGLIA, A. H., MIYAGI, P. E., TAKAHASHI, R. H. C., 1 ed, São Paulo: Blucher, 2007.

DORF, R.; BISHOP, R. **Sistemas de controle modernos**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001.

GAINO, R., GERMANOVIX, W., SUZUKI, I., SOBRINHO, A. S. F.(2003). Implementação e análise do controle de uma cadeira de rodas através de sopros e sucções. In: **Anais do VI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente**, Bauru, Setembro 2003.

MARTINS, D. C., BARBI, I., **Conversores CC-CC Básicos Não-Isolados**. 2ed. Florianópolis: Edição dos Autores, 2006.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5 ed. Pearson Brasil, 2011.

APÊNDICE A: CÓDIGO DO MATLAB DESENVOLVIDO PARA CALCULAR A LEI DE CONTROLE COM BASE EM LMIS:

```
%declara as matrizes de estado do sistema do conversor Buck
```

```

A=[-32.36 10.79;9708.74 97.09];
B=[11.11; 0];
%declara a taxa de decaimento
gama=10;
%declara o valor do raio r
r=5;
setlmis([]);
%declara as variáveis W e Z das LMIs
W=lmivar(1,[2 1]);
Z=lmivar(2,[1 2]);
%declara a primeira LMI: W>0
lmiterm([-1 1 1 W],1,1);
%declara a segunda LMI (considerando a taxa de decaimento):
%W.A'-Z'.B'+A.W-B.Z<-2.gama.W
lmiterm([2 1 1 W],A,1,'s');
lmiterm([2 1 1 Z],B,1,'s');
lmiterm([-2 1 1 W],-2*gama*1,1);
%declara a LMI do disco centrado em (-q,0) com raio r
lmiterm([3 1 1 W],-r,1);
lmiterm([3 2 1 W],1,A');
lmiterm([3 2 1 -Z],1,B');
lmiterm([3 2 2 W],-r,1);
lmire=getlmis;
%calcula W e Z que satisfazem as inequações
[tmin,xo]=feasp(lmire);
Wf=dec2mat(lmire,xo,W)
Zf=dec2mat(lmire,xo,Z)
%realiza o calculo do controlador
K=Zf*inv(Wf)

```

APÊNDICE B: CÓDIGO DO MATLAB DESENVOLVIDO PARA ENCONTRAR A RESPOSTA REFERENTE À CONDIÇÃO INICIAL:

```

%Resposta à condição inicial
A=[-32.36 10.79;9708.74 97.09];
B=[11.11; 0];
K=[75416 885];
sys=ss(A-B*K,eye(2),eye(2),eye(2));
t=0:0.0001:0.35;
x=initial(sys,[0.1;0],t);

```

```
x1=[1 0]*x';  
x2=[0 1]*x';  
subplot(2,1,1);plot(t,x1),grid  
title('Resposta à Condição Inicial')  
ylabel('x_{1}')  
subplot(2,1,2);plot(t,x2),grid  
ylabel('x_{2}')  
xlabel('t(s)')
```

SOBRE A ORGANIZADORA

MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-245-6



9 788572 472456