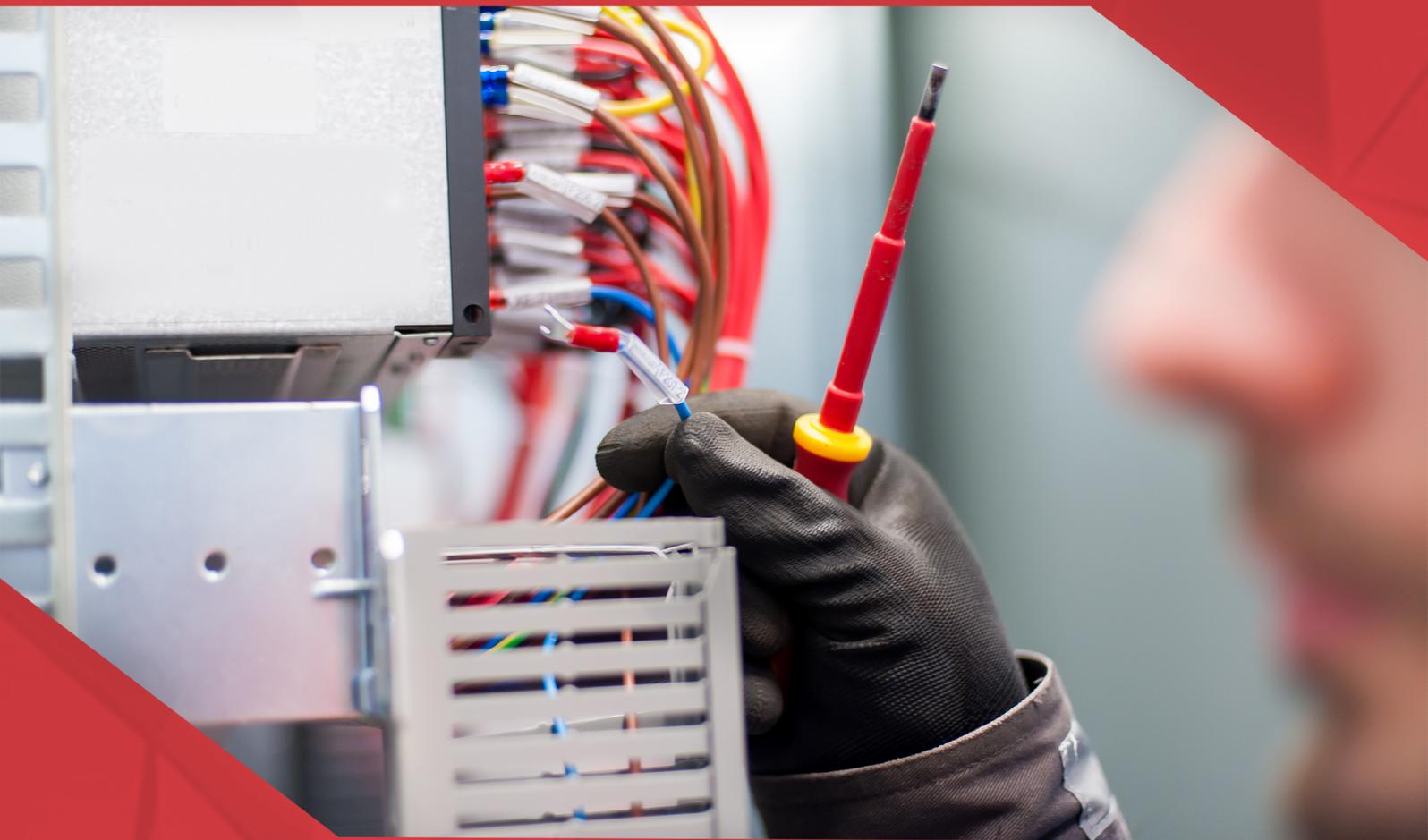


A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Elétrica

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Elétrica

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

A642 A aplicação do conhecimento científico na engenharia elétrica
[recurso eletrônico] / Organizadores João Dallamuta, Henrique
Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-932-5

DOI 10.22533/at.ed.325201701

1. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Dallamuta, João.
II. Holzmann, Henrique Ajuz.

CDD 623.3

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é portando pesquisar em uma gama enorme de áreas, subáreas e abordagens de uma engenharia que é onipresente em praticamente todos os campos da ciência e tecnologia.

Neste livro temos uma diversidade de temas, níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PANORAMA ATUAL E CENÁRIO 2025 DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL	
Isabela Valpecovski Urbanetz Allana de Moura Netto Bruno Scolari Vicente Leite Jair Urbanetz Junior	
DOI 10.22533/at.ed.3252017011	
CAPÍTULO 2	10
GESTÃO EFICIENTE DAS ANUIDADES REGULATÓRIAS NA CEMIG DISTRIBUIÇÃO	
Rosane de Pinho Matos Viviane Fernanda de Aguiar Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.3252017012	
CAPÍTULO 3	21
DESAFIOS DA REVISÃO PERIÓDICA DE AJUSTES DE GRANDES SISTEMAS -NORMAS, PROCEDIMENTOS E FERRAMENTAS	
Rodrigo A. Benes Ferreira Mario Roberto Bastos Nilson José Francischetti Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.3252017013	
CAPÍTULO 4	36
AVALIAÇÃO ECONÔMICA E ENERGÉTICA DE UM SISTEMA INTEGRANDO MÁQUINA BIOPEIXES E REATOR MULTIFUNCIONAL PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Francisco de Assis da Silva Mota Francisco Francielle Pinheiro dos Santos Paula Cristina de Amorim Andrade	
DOI 10.22533/at.ed.3252017014	
CAPÍTULO 5	48
ANÁLISE DE PERDAS TÉCNICAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO	
Francisco Jeandson Rodrigues da Silva Ailson Pereira de Moura Adriano Aron Freitas de Moura Douglas Aurélio Carvalho Costa Obed Leite Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.3252017015	
CAPÍTULO 6	61
CARACTERIZAÇÃO E ESTRATIFICAÇÃO DOS SFVCR NO BRASIL: CENÁRIO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS	
Diego Piazza Hilgert Jair Urbanetz Junior	
DOI 10.22533/at.ed.3252017016	

CAPÍTULO 7	75
GECORTE CEMIG D: SELEÇÃO ÓTIMA DE ALVOS DE CORTE USANDO GEORREFERENCIAMENTO: DESENVOLVIMENTO SAP/CCS	
Wellington Fazzi Cancian Andre Luiz Soares Charles Ramos Pimenta	
DOI 10.22533/at.ed.3252017017	
CAPÍTULO 8	89
ÍNDICES DE REFERÊNCIA PARA APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA CABOS PARA-RAIOS ENERGIZADOS	
José Ezequiel Ramos Alexandre Piantini Ary D'Ajuz Valdemir Aparecido Pires Paulo Roberto de Oliveira Borges	
DOI 10.22533/at.ed.3252017018	
CAPÍTULO 9	96
A EXPERIÊNCIA DA COPEL COM RELIGADORES MONOFÁSICOS	
Maurício Varassim Hernandes Oscar Kim Júnior Fausto Aurélio Portella Garcia Guilherme Fernandes Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.3252017019	
CAPÍTULO 10	108
SISTEMA DE MONITORAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA COM VISTAS A MELHORIA DA QUALIDADE DE SERVIÇO	
Klendson Marques Canuto Avilez Batista de Oliveira Lima Paulo Roberto de Oliveira Braga Juraci Gomes de Aguiar Filho André Ribeiro da Costa	
DOI 10.22533/at.ed.32520170110	
CAPÍTULO 11	122
TÉCNICA DE RESGATE PARA TRABALHOS EM INSTALAÇÕES ENERGIZADAS – MÉTODO AO POTENCIAL	
Fernando César Pepe Wlademir Braido	
DOI 10.22533/at.ed.32520170111	
CAPÍTULO 12	128
MONITORAMENTO DE DESGASTE DE CONTATOS DOS DISJUNTORES DA SUBESTAÇÃO ISOLADA À GÁS DA UHE BELO MONTE	
Davi Carvalho Moreira	
DOI 10.22533/at.ed.32520170112	

CAPÍTULO 13 139

COMPARAÇÃO ENTRE TRANSFORMADORES A ÓLEO E A SECO

Marco Antonio Ferreira Finocchio
Márcio Mendonça
Lucas de Oliveira Antunes
Jeferson Gonçalves Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.32520170113

CAPÍTULO 14 147

OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS APLICADA A CONTROLADORES DE CORRENTE PARA INVERSORES CONECTADOS À REDE

Lucas Cielo Borin
Iury Cleveston
Caio Ruviaro Dantas Osorio
Gustavo Guilherme Koch
Fabricio Moretto Bottega
Vinicius Foletto Montagner

DOI 10.22533/at.ed.32520170114

CAPÍTULO 15 161

OTIMIZAÇÃO DA CONFIABILIDADE PELA ALOCAÇÃO DE CHAVES AUTOMÁTICAS E USO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM ILHAMENTO

Railson Severiano de Sousa
Camilo Alberto Sepúlveda Rangel
Criciéle Castro Martins
Mauricio Sperandio
Luciane Neves Canha

DOI 10.22533/at.ed.32520170115

CAPÍTULO 16 175

COMO SELECIONAR TRANSISTORES DE POTÊNCIA PARA APLICAÇÕES EM CONVERSORES ESTÁTICOS?

Edemar de Oliveira Prado
Pedro Cerutti Bolsi
Mateus José Tiburski
Éder Bridi
Hamiltom Confortin Sartori
José Renes Pinheiro

DOI 10.22533/at.ed.32520170116

CAPÍTULO 17 190

METODOLOGIA DE PROJETO DE CONVERSORES BOOST PARA APLICAÇÕES DE ALTA EFICIÊNCIA E ELEVADO GANHO DE TENSÃO

Mateus José Tiburski
Éder Bridi
Edemar Oliveira Prado
Pedro Cerutti Bolsi
Hamiltom Confortin Sartori
José Renes Pinheiro

DOI 10.22533/at.ed.32520170117

CAPÍTULO 18	203
INFLUÊNCIA DO PONTO DE OPERAÇÃO DE CONVERSORES ESTÁTICOS NO VOLUME E PERDAS DE DIFERENTES MATERIAIS MAGNÉTICOS	
<ul style="list-style-type: none"> Pedro Cerutti Bolsi Edemar de Oliveira Prado Mateus José Tiburski Éder Bridi Hamiltom Confortin Sartori José Renes Pinheiro 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170118	
CAPÍTULO 19	218
WIRELESS CHARGER MANUFACTURING USING INDUCTIVE METHOD	
<ul style="list-style-type: none"> Maryam Liaqat Sulman Joseph Shamsa Maqsood Ali Raza Sana Aslam Waseem Imtiaz Muhammad Furqan Shoukat 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170119	
CAPÍTULO 20	235
TRANSFORMADOR DE ATERRAMENTO EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO	
<ul style="list-style-type: none"> Djair Pamplona dos Santos 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170120	
CAPÍTULO 21	248
OTIMIZAÇÃO DE CONVERSORES BOOST INTERCALADO DE ALTO GANHO DE TENSÃO E ALTA EFICIÊNCIA	
<ul style="list-style-type: none"> Éder Bridi Mateus José Tiburski Edemar Oliveira Prado Pedro Cerutti Bolsi Hamiltom Confortin Sartori José Renes Pinheiro 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170121	
CAPÍTULO 22	262
DETERMINAÇÃO DE PROCEDIMENTO PARA AVALIAR A INCERTEZA NA PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO AFLUENTE POR SISTEMAS HIDRO METEOROLÓGICOS PARA AUXÍLIO NA OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS E PLANEJAMENTO HIDROENERGÉTICO	
<ul style="list-style-type: none"> Reinaldo Bomfim da Silveira Anderson Nascimento de Araujo Mino Viana Sorribas Camila Freitas Rafael Schinoff Mércio Pereira Ângelo Breda José Eduardo Gonçalves 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170122	
SOBRE OS ORGANIZADORES	276

OTIMIZAÇÃO DE CONVERSORES BOOST INTERCALADO DE ALTO GANHO DE TENSÃO E ALTA EFICIÊNCIA

Data de submissão: 03/10/2019

Data de aceite: 03/01/2020

Éder Bridi

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Santa Maria – RS
<http://lattes.cnpq.br/2790377192733673>

Mateus José Tiburski

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Santa Maria – RS
<http://lattes.cnpq.br/5498188421691529>

Edemar Oliveira Prado

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Santa Maria – RS
<http://lattes.cnpq.br/1774778404976935>

Pedro Cerutti Bolsi

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Santa Maria – RS
<http://lattes.cnpq.br/0324597211954149>

Hamiltom Confortin Sartori

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Santa Maria – RS
<http://lattes.cnpq.br/6722822162374884>

José Renes Pinheiro

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Santa Maria – RS
<http://lattes.cnpq.br/2333794966860226>

de otimização para projeto de conversores CC/CC Boost convencional e intercalado. O método se baseia na escolha do ponto ótimo de operação ($\Delta i_L @ f_s @ J$), que serve como referência para a seleção dos materiais magnéticos, condutores, semicondutores, capacitores que compõem a topologia, além de definir as variações da arquitetura cujo arranjo propiciará o melhor rendimento global do sistema. Análise da variação da densidade de corrente no indutor (J) adicionada ao ponto de operação vem a ser um diferencial da metodologia. São apresentados os resultados de simulações e arranjos para conversores, juntamente com fluxograma completo do processo que serve como referência para demais projetos.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização, Alto ganho, Boost, Intercalado.

OPTIMIZATION OF INTELEAVED BOOST CONVERTERS WITH HIGH VOLTAGE GAIN AND HIGH EFFICIENCY

ABSTRACT: This work uses an optimization methodology for conventional and interleaved high gain Boost CC/CC converters. This method is based on the choice of the optimum operation point ($\Delta i_L @ f_s @ J$), which serves as reference for the selection of magnetic materials, conductors, semiconductors, capacitors that will compose topology. Variations of the architecture whose arrangement will provide the best overall system

RESUMO: Este trabalho utiliza uma metodologia

performance. Analysis of the inductor current density variation (i_L) added to the operating point is a differential of the methodology. Simulations results and arrangements for converters are presented along with a complete chart-flow diagram of the process, make this a reference for other projects.

KEYWORDS: Optimization, High gain, Boost converter, Interleaved.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, emprega-se conversores de potência em diversas aplicações, dentre elas veículos elétricos, fontes ininterruptas de energia, iluminação pública, torres de telecomunicação, armazenamento de energia, sistemas de acionamento, células a combustível, painéis solares, dispositivos eletrônicos para conversão de energia (FRIVALDSKY et al., 2018). Para ser conectado as cargas, o sistema de condicionamento de potência deve adequar as baixas tensões de saída fornecidas por fontes de energia renovável com as requeridas pelas cargas. Esse sistema é normalmente composto por um conversor CC/CC e um inversor CC/CA. Em sistemas onde se processam altas correntes, algumas topologias Boost têm apresentado alto rendimento além de possuírem um arranjo relativamente simples (SHOE et al.; 2010; KIRUBAKARAN; JAIN; NEMA, 2009).

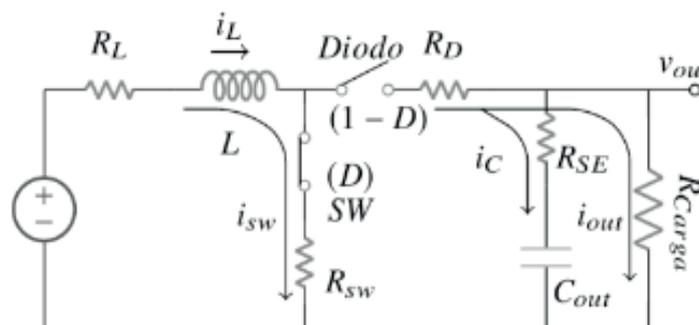


Figura 1 - Circuito do conversor Boost e ganho estático.

Conversores *Boost* convencionais possuem limites relacionados ao ganho de tensão, capacidade de potência e eficiência. Quando se faz necessário um elevado ganho de tensão, o conversor pode operar em condições que resultam em um desgaste muito elevado nos componentes e grandes perdas de potência na conversão (ROSASCARO et al., 2011; LEE et al., 2013; TSENG et al., 2015).

Para um conversor *Boost*, ideal, quando a razão cíclica é um, o ganho tende ao infinito. Na prática, isso não acontece já que existem as resistências parasitas intrínsecas de cada componente que são demonstradas na Figura 1. Para correntes elevadas de saída estas resistências são responsáveis pelas maiores perdas no conversor (KAZIMIERCZUK, 2015). Em regime permanente, a tensão de saída de um conversor *Boost* real pode ser obtida através do modelo médio mostrado na Figura 1.

Nesta técnica de linearização (VORPÉRIAN, 1990), fontes controladas são utilizadas.

A proposta deste trabalho é uma metodologia de projeto aplicado a um conversor *Boost* convencional e intercalado. Executa-se uma varredura de parâmetros do projeto e partir disso seleciona-se um ponto ótimo de operação ($\Delta IL @ fs @ J$). Bancos de dados de componentes são utilizados de apoio aos cálculos.

2 | DESCRIÇÃO DAS PERDAS DE POTÊNCIA

Perdas no Capacitor: Ocorrem devido a energia dissipada por efeito térmico oriunda da circulação de corrente (i_{cap}) na resistência série equivalente RSE, que é dependente da temperatura de trabalho do capacitor e da frequência em que ele está operando (HAMI; BOULZAZEN; KADI, 2015). Estas perdas são calculadas através da equação (1) (HUIJIE et al., 2010)

$$P_{CAP} = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} i_{CAP}^2(t) R_{ESR}(fs, \theta) dt \quad (1)$$

Perdas no Indutor: São a somatória das perdas nos enrolamentos (P_{cobre}) e no núcleo (P_{nuc}). As do núcleo dependem da densidade de fluxo magnético (B_{pk}), volume do núcleo (V_{nuc}), frequência de chaveamento (f_s), das características construtivas e físico-químicas do material. Em núcleos de pó de ferro toroidais este cálculo é feito através da equação (2) onde os coeficientes de Steinmetz (a,b,c) são fornecidos pela folha de dados do fabricante (MAGNETICS, 2017).

$$P_{nu} = V_{nu} a \left(\frac{B_{nu}^b t_{on}}{(2t_{on})^c T_s} + \frac{B_{nu}^b t_{off}}{(2t_{off})^c T_s} \right) \quad (2)$$

As perdas nos enrolamentos são essencialmente oriundas de dois fatores como: Resistência CC (R_{cc}) atrelada a parâmetros como resistividade, seção transversal, comprimento e temperatura do material, calculada segundo equação (3). E resistência CA (R_{ca}) atrelada ao efeito pelicular e ao efeito de proximidade expressa pela equação (4).

$$R_{cc} = \frac{\rho_{cond} w_l}{A_w} \quad (3)$$

ρ_{cond} - Resistividade do material condutor (Ωm); w_l - Comprimento do material condutor (m); A_w - Área da seção transversal do condutor (m^2).

O efeito pelicular e o efeito de proximidade são os responsáveis pelo aumento da resistência efetiva de um material condutor. O efeito pelicular é causado pela repulsão

entre as linhas de corrente que criam a tendência desta fluir pela superfície do condutor. Da mesma forma, o efeito de proximidade também ocorre em virtude dessa repulsão, porém, entre dois condutores adjacentes. Esta resistência pode ser aproximada pela equação (4) (BARTOLI; REATTI; KAZIMIERCZUK, 1994).

$$R_{ca(f)} = \left(\frac{4}{\pi}\right)^{\frac{1}{4}} N l_{esp} \sqrt{\frac{\rho \mu \pi f}{d t_d}} \left(1 + \frac{2(N_l^2 - 1)}{3}\right) \quad (4)$$

l_{esp} - Comprimento médio das espiras (m); ρ - Resistividade do cobre ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$);
 μ - Permeabilidade relativa do cobre (H/m); f - Frequência do harmônico em questão (Hz); d - Diâmetro do condutor (mm); t_d - Distância entre os centros de dois condutores adjacentes (mm); N_l - Número de camadas do enrolamento.

A equação (4) pode ser aplicada apenas a núcleos com geometrias toroidais. Assim sendo, pode-se calcular as perdas no cobre pela equação (5).

$$P_{cobre} = R_{CC} i_{L(rms)}^2 + \sum_{f=0}^{\infty} (R_{CA}(f) i_L(f)^2) \quad (5)$$

$i_{L(rms)}$ - Corrente rms no indutor (A); $i_{L(f)}$ - Corrente do harmônico (A);

Perdas nos Semicondutores: São caracterizadas pelas perdas de condução e de comutação.

As perdas por condução ocorrem devido a diferença de potencial (V_f) que surge no momento em que há circulação de corrente (I_f) através da resistência (R_{dson}) do semiconductor, que varia por características construtivas, térmicas e da amplitude da corrente. Há o acréscimo das perdas do gate onde: (V_g) é a tensão de gate e (I_g) é a corrente de gate. Os valores de referência são obtidos a partir das curvas disponibilizadas em folhas de dados dos componentes (DIMITROV; GARANOV; HVARCHILKOV, 2016). As perdas por condução da chave (P_{cond_sw}) são representadas pela equação (6), já as perdas por condução do diodo (P_{cond_D}) são representadas pela equação (7).

$$P_{cond_sw} = \frac{1}{T_s} \left(\int_0^{T_s} V_f I_f dt + \int_0^{T_s} V_g I_g dt \right) \quad (6)$$

$$P_{cond_D} = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} V_f I_f dt \quad (7)$$

Já as perdas por comutação, no caso do MOSFET, são obtidas através da

identificação de cada transição de comutação (turn-on e turn-off) do dispositivo semicondutor, como apresentado em (BELTRAME; 2009).

$$P_{on} = \frac{1}{2} i_{dev} V_o t_r f_s + \frac{1}{2} C_{oss} V_o^2 f_s \quad (8)$$

$$P_{off} = \frac{1}{2} i_{dev} V_o t_f f_s \quad (9)$$

P_{on} - Potência dissipada no turn on (W); P_{off} - Potência dissipada no turn off (W);
 i_{dev} - Corrente instantânea de comutação (A); V_o - Tensão sobre o dispositivo (V);
 t_r - Tempo de subida (s); t_f - Tempo de descida (s); f_s - Frequência de chaveamento (Hz); C_{oss} - Capacitância de saída (F).

As perdas por comutação no diodo ocorrem no bloqueio. Nesse momento os portadores de carga devem se reordenar no dispositivo, para que o mesmo entre em estado de não condução (BARTOLI; REATTI; KAZIMIERCZUK, 1994).. Esta reordenação resulta em uma carga armazenada na junção (Q_{rr}) e há circulação de uma corrente de recuperação reversa.

3 | METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO

A metodologia proposta é desenvolvida a partir da varredura de parâmetros de projeto do conversor nos pontos de operação ($\Delta I_L @ f_s @ J$) é a ondulação de corrente; f_s é a frequência de chaveamento; J é a densidade de corrente. O projeto baseia-se no equacionamento das topologias Boost convencional e das Boost intercalado de duas a cinco fases. Desta forma, faz-se a escolha dos núcleos magnéticos, seções transversais de condutores, semicondutores, dissipadores, capacitores, etc. Assim sendo, a escolha adequada do ponto de operação ($\Delta I_L @ f_s @ J$) juntamente com as tecnologias que compõem o arranjo de componentes e arquiteturas, proporcionam resultados que são considerados ótimos, sendo expressos pelo máximo rendimento η_w .

A etapa do método de otimização que trata destas variáveis pode ser observada no **Passo:01** da Figura 2. No caso de conversores CC-CC e especialmente arquiteturas que derivam da topologia *Boost*, é necessário determinar a potência de saída (P_{out}); tensão de saída (V_{out}); ondulação máxima na saída ; temperatura ambiente (T_{amb}); temperatura máxima de operação do núcleo magnético (T_{mag}); temperatura média na junção do semicondutor (T_j), número máximo de núcleos empilhados (N_{ne}); Vetor de frequências (f_s); Vetor de ondulações de corrente de entrada por unidade (Δj_{pu}); vetor de densidades de corrente (j); resistividade do material aplicado ao condutor enrolado ao núcleo magnético (ρ); número máximo de fases para intercalamento (N_{fase}).

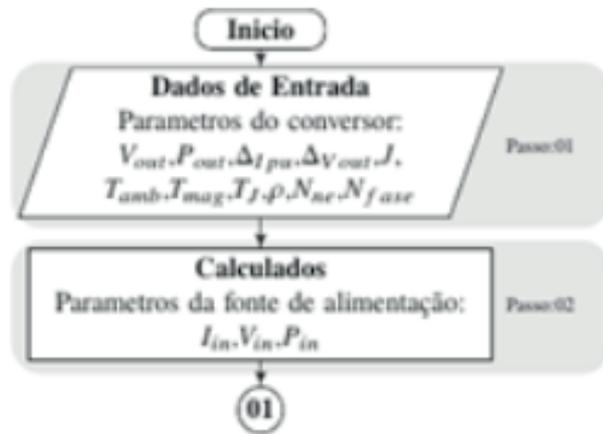


Figura 2: Fluxograma.

O núcleo magnético é selecionado em função da energia máxima que este pode armazenar E_{arm} expressa pela equação (10), onde I_{Lmax} é o maior valor de corrente que o indutor será submetido e L é a indutância mínima necessária. Como mostrado no catálogo de núcleos magnéticos de pó de ferro do fabricante MAGNETICS esta energia armazenada é dada em (mHA²). Neste catálogo são apresentadas curvas da capacidade de energia, para os diferentes núcleos *Kool Mu*, *High Flux* e *Molypermalloy* como também a permeabilidade magnética (μ) e seu número de série (*Part number*).

$$E_{Arm} = LI_{L_{max}}^2 \quad (10)$$

Neste método não há garantia que o indutor irá operar sem que haja sobreaquecimento em todas as possíveis condições de operação (ZIENTARSKI et al., 2009). Para garantir que o indutor não exceda o limite de temperatura e prejudique o seu funcionamento e o de outros componentes em sua proximidade, é adotada uma temperatura máxima de trabalho. O indutor que exceder a temperatura pré-especificada será excluído do conjunto de soluções como apresentado em (BELTRAME, 2017). Assim sendo, para cada ponto de operação ($\Delta I_L @ f_s @ J$) define-se uma indutância inicial. Como descrito em (ERICKSON e D. MAKSIMOVIC, 2007), esta é definida pela equação (11),

$$L = \frac{V_{in} D}{2 \Delta_{iL} f_s} \quad (11)$$

O valor da corrente máxima no indutor é definido pelo pico da ondulação utilizada no projeto conforme a equação (12).

$$I_{L_max} = I_{Lrms} + \frac{\Delta_{iL}}{2} \quad (12)$$

E a razão cíclica do conversor ideal é dada pela equação (13).

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (13)$$

Tendo feito a seleção do núcleo ou do empilhamento de núcleos faz-se o cálculo do número inicial de espiras através da equação (14), onde $N(k)$ é número inicial de espiras, l_e é o comprimento do caminho magnético referente ao núcleo selecionado, em cm, A_e é a área de seção transversal do núcleo em cm^2 e $\mu(k)$, é a permeabilidade relativa inicial referente ao núcleo selecionado. Segundo Beltrame (2017), caso sejam empregados núcleos empilhados deve-se multiplicar o valor de A_e pelo número de núcleos.

$$N_{(k)} = \sqrt{\frac{Ll_e 10^8}{0,4\pi\mu_{(k)}A_e}} \quad (14)$$

Próximo passo é determinar a intensidade de campo magnético $H(t)$ dado pela equação (15).

$$H_{(k)} = \frac{N_{(k)}I_{Lpico}}{l_e} \quad (15)$$

Pode-se então calcular a nova permeabilidade relativa do núcleo magnético $\mu(k+1)$, através da equação (17), sendo os parâmetros a, b, c, d, e fornecidos pelo fabricante.

$$\mu_{(k+1)} = \mu_{i(k)} \left(a + bH_{(k)} + cH_{(k)}^2 + dH_{(k)}^3 + eH_{(k)}^4 \right) \quad (16)$$

Por conseguinte, pela equação (17) calcula-se o número final de espiras do indutor.

$$N_{(k+1)} = \sqrt{\frac{Ll_e 10^8}{0,4\pi\mu_{(k+1)}A_e}} \quad (17)$$

Prever a elevação da temperatura de forma precisa necessita-se modelos com elevada complexidade, pois, além das perdas no indutor, esta estimativa envolve a área

externa de dissipação, direção e velocidade do fluxo ar, como também a resistividade térmica dos materiais utilizados (ZIENTARSKI et al., 2009). Com o intuito facilitar o cálculo térmico a fabricante (MAGNETICS, 2017), apresenta a equação (18) que através um modelo simplificado permite estimar a elevação da temperatura do núcleo ΔT conhecendo somente das perdas e da área externa do magnético A_{ext} (BELTRAME et al., 2014).

$$\Delta T = \left(\frac{P_{nuc} + P_{cobre}}{A_{ext}} \right)^{0,833} \quad (18)$$

A Figura 3 apresenta o fluxograma referente ao projeto do indutor.

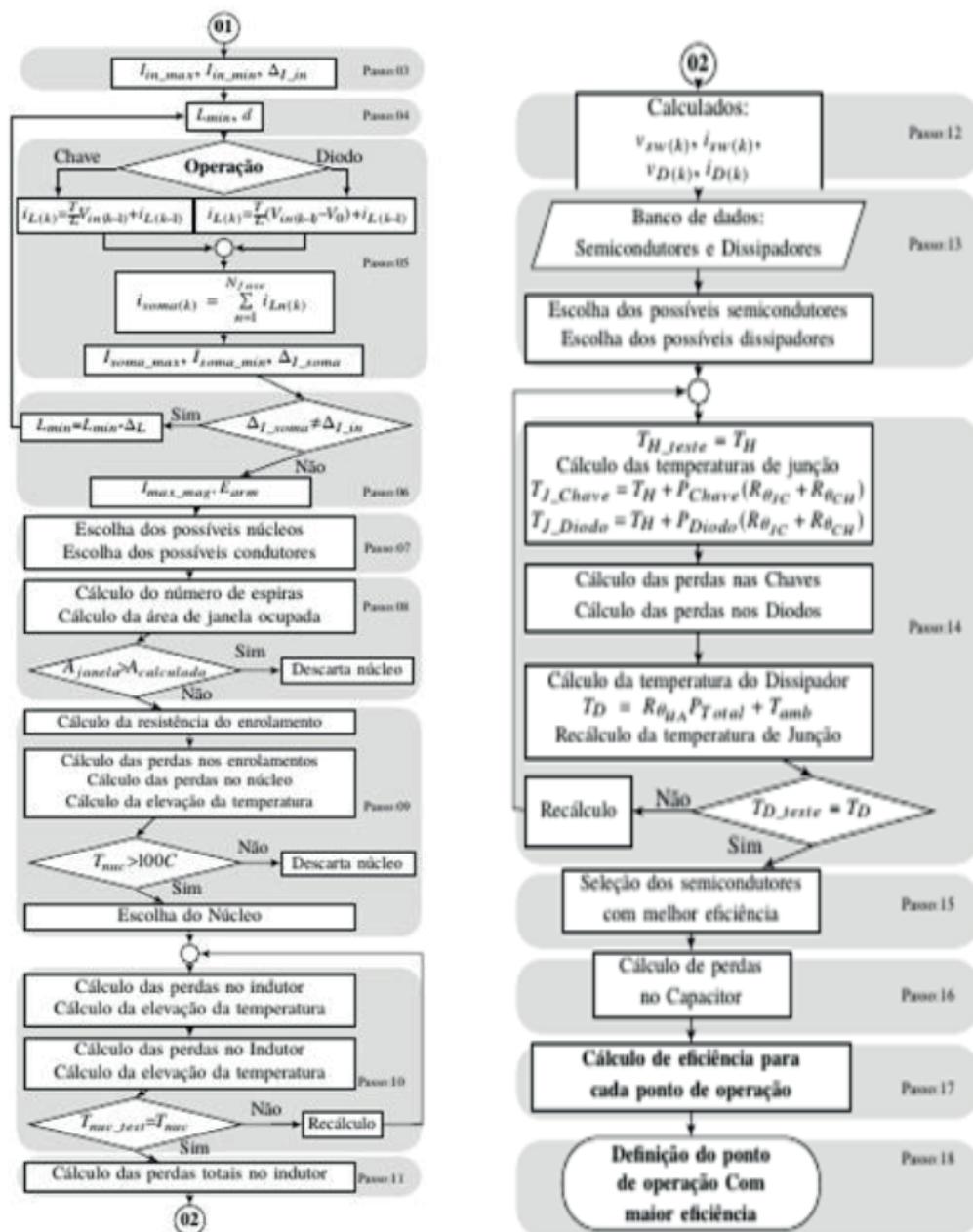


Figura 3: Fluxograma.

Passo:03 Cálculo das correntes máximas I_{in_max} , mínimas I_{in_min} e da ondulação de corrente pré especificada ΔI_{in} .

Passo: 04 Cálculo da indutância mínima de projeto L_{min} e da razão cíclica (D).

Passo: 05 Cálculo da corrente instantânea no indutor $i_{L(k)}$. Somatória das correntes instantâneas em cada indutor i_{soma} . Cálculo da ondulação de corrente Δf_{soma} em função da diferença entre o valor máximo I_{soma_max} e I_{soma_min} .

Passo: 06 Comparação entre a ondulação desejada e calculada. Caso haja diferença entre os valores de ondulação é feito um decremento no valor de indutância até que a ondulação calculada atinja o valor esperado. Caso o valor da ondulação seja o esperado, é feito o cálculo da corrente máxima de magnetização I_{max_mag} e da energia máxima admissível no núcleo E_{arm} .

Passo: 07 Escolha dos possíveis condutores considerando efeito pelicular e densidade de corrente J, bem como a escolha dos possíveis núcleos ou empilhamento de núcleos.

Passo: 08 Cálculo do número de espiras e área de janela ocupada, comparação entre a máxima área de ocupação de janela desejada A_{janela} e a área de ocupação de janela calculada $A_{calculada}$. Caso a área de janela desejada for menor que a calculada, escolhe-se novo núcleo. Caso contrário, executa-se o cálculo da resistência de enrolamento, a partir da resistividade do material condutor na temperatura de trabalho R_{cc} , efeito pelicular e de proximidade R_{ca} .

Passo: 09 Cálculo das perdas no enrolamento P_{cobre} e no núcleo P_{nuc} e da elevação da temperatura ΔT . Se o núcleo escolhido exceder a temperatura de trabalho especificada, este é descartado. Caso a temperatura calculada do núcleo seja inferior a especificada, o núcleo é escolhido.

Passo: 10 Corrige-se da resistividade do material em função da temperatura no indutor até que a temperatura atual do núcleo calculada seja igual a calculada no passo anterior.

Passo: 11 Cálculo das perdas totais no indutor para todas as soluções possíveis para cada combinação ponto de operação.

Passo: 12 Cálculo das tensões e correntes instantâneas para os semicondutores.

Passo: 13 Escolha dos semicondutores que suportem a tensão de bloqueio pré especificada, corrente circulante e que seja compatível com a dinâmica térmica. Em um banco de dados são escolhidos alguns modelos de dissipadores cuja resistência térmica possibilite a transferência do calor como explicado anteriormente.

Passo: 14 Cálculo das perdas nos semicondutores. São calculadas considerando a temperatura de operação; Recorrência de cálculo até o equilíbrio de temperatura.

Passo: 15 É escolhido o semiconductor que apresenta menores perdas em um determinado ponto de operação.

Passo: 16 Nesta etapa é feito o cálculo das perdas nos capacitores.

Passo: 17 Combinação dos componentes da topologia (materiais magnéticos, condutores, semicondutores, capacitores) e variação do número de fases de entrada

para o caso do intercalamento. Somatório das perdas de potência em cada elemento do conversor para cada ponto de operação ($\Delta_{IL} @ f_s @ J$) dentro das especificações.

Passo: 18 Escolha do ponto ótimo de operação do conversor Boost convencional ou intercalado, que apresenta maior eficiência.

4 | RESULTADOS

Os parâmetros de projetos são apresentados na Tabela 1.

Parâmetros	Valores		
Potência Nominal	3000 W		
Tensão de entrada	50 V		
Tensão de saída	400 V		
Intervalo de f_s investigado	5 a 200 kHz		
Intervalo de Δ_{IL} investigado	1 a 10 %		
Máximo Δ_{V_o}	1 %		
Resistência de Gate	10 Ω		
Temperatura Ambiente	50 C		
Intervalo de J investigado	300 a 500 A/m^2		
Intervalo de N_{ne} investigado	1 a 5		
Intervalo de N_{fase} investigado	1 a 5		
Nº capacitores paralelos	5		

(a)

Chaves	Diodos
IPW60R017C7	IDW40G65C5
STW70N60DM2	IDW30G65C5
STW70N60DM2	IDW20G65C5
IXKK85N60C	Hyperfast15ETH06
FCH041N60F	Ultrafast60APU04PbF
IGW30N65L5	Fast RURG5060

(b)

Tabela 1 - Parâmetros do Projeto (a) e semicondutores (b).

Para obtenção dos resultados foram considerados todos os núcleos magnéticos toroidais do tipo Kool Mu, High Flux e Molypermalloy e condutores de cobre (AWG) presentes no catálogo (MAGNETICS, 2017). Capacitores da Empresa TDK Epcos com nível de tensão entre quatrocentos e cinquenta e seiscentos e cinquenta volts. Os semicondutores utilizados são apresentados nas tabelas 2, 3 e 4. São apresentados o ponto ótimo de operação, bem como área de seção transversal e número de fios paralelos dos condutores, elementos semicondutores e capacitores do conversor intercalado cujo número de fases varia de um a cinco. Os semicondutores escolhidos pelo algoritmo foram: chave IPW60R017C7 e diodo IDW40G65C5.

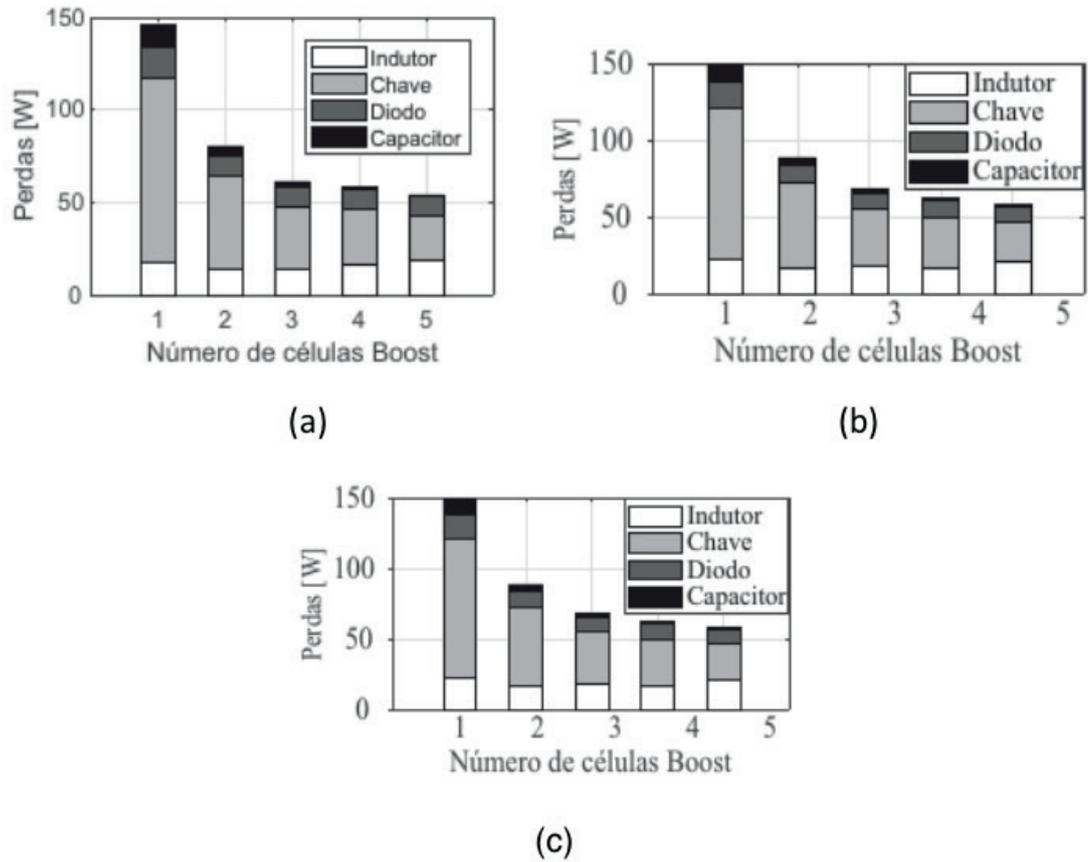


Figura 2 - Perdas nos conversores boost intercalados com núcleo magnético toroidal Molypermalloy (a), Kool Mu (b) e High flux (c).

Seleção	Número de células <i>boost</i>				
	1	2	3	4	5
η_{ω} (%)	94,69	96,51	97,11	97,59	97,71
f_s (kHz)	29	14	10	19	10
Δ_i %	10	10	9	7	6
J (A/cm ²)	300	300	300	300	300
L (μH)	251,44	449,8	583,19	315,65	137,37
Núcleo	58099	58099	58099	58090	58438
μ_i (H/m)	60	60	60	60	125
N_{ne}	2	1	1	3	3
Condutor	31x19	8x16	4x14	5x17	2x14
Nº espiras	23	49	54	38	28

Tabela 2 - Núcleo *Molypermalloy*.

Seleção	Número de células <i>boost</i>				
	1	2	3	4	5
η_{ω} (%)	94,47	96,19	97,32	97,52	97,91
f_s (kHz)	28	25	13	19	10
Δ_i %	10	10	10	8	7
J (A/cm ²)	300	300	300	300	300
L (μH)	260,42	251,87	403,70	276,22	00000
Núcleo	77337	77102	77102	77616	77616
μ_i (H/m)	26	26	26	40	40
N_{ne}	1	1	1	2	2
Condutor	31x19	13x18	5x15	5x17	2x14
Nº espiras	51	50	63	28	36

Tabela 3 - Núcleo *Kool Mu*.

Seleção	Número de células <i>boost</i>				
	1	2	3	4	5
η_{ω} (%)	94,29	96,16	97,38	97,73	98,05
f_s (kHz)	34	42	18	16	10
Δ_i %	10	10	10	9	7
J (A/cm ²)	300	300	300	300	300
L (μH)	214,46	149,91	291,59	291,56	128,06
Núcleo	55164	55617	55617	55617	55617
μ_i (H/m)	14	60	60	60	60
N_{ne}	1	2	2	1	1
Condutor	31x19	20x20	17x7	4x16	2x14
Nº espiras	52	21	32	29	34

Tabela 4: Núcleo *High Flux*.

5 | CONCLUSÕES

Este artigo propôs uma metodologia de otimização para projeto de conversores CC/CC Boost convencional e intercalado. Esta metodologia foi baseada em conceito de ponto ótimo de operação que baliza a escolha dos componentes integrantes do conversor. Além disso, percebe-se que pontos ótimos de operação para conversores de alto ganho estão diretamente relacionados com as resistências parasitas dos componentes, ligadas diretamente com a eficiência do conversor. Há uma limitação de ganho quando as resistências parasitas tem um valor expressivo frente a resistência de carga, conforme mostrado em toda a análise. Por fim, a implementação desta metodologia define um modelo padrão de projeto, uma vez que a eficiência é sempre alvo no desenvolvimento de conversores de potência.

Das simulações conclui-se que a arquitetura de maior desempenho é a intercalada de três fases utilizando o núcleo magnético *High Flux* com rendimento de 97,41%,

frequência de 18kHz e ondulação de corrente de entrada de 10%.

REFERÊNCIAS

- BARTOLI M., REATTI A., and KAZIMIERCZUK M. K., “**Modelling iron-powder inductors at high frequencies**,” in Proceedings of 1994 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Oct 1994, pp. 1225–1232 vol.2.
- BELTRAME F., “**Metodologia de projeto otimizado de conversores estáticos aplicados a sistemas fotovoltaicos**,” Ph.D. dissertation, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Maria, 11 2017.
- BELTRAME F., DUPONT F. H., SARTORI H. C., and PINHEIRO J. R., “**Design methodology to improve the converters’ efficiency applied to photovoltaic systems**,” in IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Oct 2014, pp. 1397–1403.
- BELTRAME R. C., “**Metodologia de síntese de topologias zvt simplificada aplicadas a pólos pwm bidirecionais**,” Master’s thesis, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.
- CHOE G.-Y., KIM J.-S., KANG H.-S., and LEE B.-K., “**An Optimal Design Methodology of an Interleaved Boost Converter for Fuel Cell Applications**,” Journal of Electrical Engineering & Technology, vol. 5, no. 2, pp. 319–328, 2010.
- DIMITROV V., GORANOV P., and HVARCHILKOV D., “**An analytical approach to model the switching losses of a power mosfet**,” in 2016 IEEE InternatiOnal Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), Sept2016, pp. 928–933.
- FRIVALDSKY M., HANKO B., PRAZENICA M., and J MORGOS., “**High gain boost interleaved converters with coupled inductors and with demagnetizing circuits**,” Energies, vol. 11, no. 1, p. 130, 2018.
- ERICKSON R. W. and MAKSIMOVIC D., **Fundamentals of power electronics**. Springer Science & Business Media, 2007.
- HAMI F., BOULZAZEN H., and KADI M., “**High frequency characterization and modeling via measurements of power electronic capacitors under high bias voltage and temperature variations**,” in 2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, May 2015, pp. 334–339.
- HUIJIE X., JINYING B., CHUNSHENG W., and HONGHUA X., “**Design and implementation of a pv dc/dc converter with high efficiency at low output power**,” in 2010 International Conference on Power System Technology, Oct 2010, pp. 1–6.
- KAZIMIERCZUK M. K., **Pulse-width modulated DC-DC power converters**. John Wiley & Sons, 2015.
- KIRUBAKARAN A., JAIN S., and NEMA R. K., “**The PEM Fuel Cell System with DC / DC Boost Converter : Design , Modeling and Simulation**,” International Journal of Recent Trends in Engineering, vol. 1, no. 3, 2009.
- LEE J.-P., CHA H., SHIN D., LEE K.-J., YOO D.-W., and YOO J.-Y., “**Analysis and design of coupled inductors for two-phase interleaved dc Dc converters**,” Journal of power electronics, vol. 13, no. 3, pp. 339–348, 2013.
- MAGNETICS. (2017) **Powder cores design manual and catalog**.

ROSAS-CARO J.C., MAYO-MALDONAD J. C., SALAS-CABRERA R., GONZALEZ-RODRIGUEZ A., SALAS-CABRERA E. N., and CASTILLO-IBARRA R., “**A family of dc-dc multiplier converters,**” Engineering Letters, vol. 19, no. 1, pp. 57–67, 2011.

TSENG K. C., CHEN J. Z., LIN J. T., HUANG C. C., and YEN T. H., “**High step-up interleaved forward-flyback boost converter with three-winding coupled inductors,**” IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 9, pp. 4696–4703, Sept 2015.

VORPÉRIAN V., “**Simplified analysis of pwm converters using model of pwm switch. ii. discontinuous conduction mode,**” IEEE Transactions on Aerospace and Electronic systems, vol. 26, no. 3, pp. 497–505, 1990.

ZIENTARSKI J. R. R., PINHEIRO J. R., HEY H. L., BELTRAME R. C., and CANDIDO D. B., “**A design methodology for boost inductor applied to pfc converters considering the core temperature rise and the conducted emi noise,**” in 2009 13th European Conference on Power Electronics and Applications, Sept 2009, pp. 1–10.

ÍNDICE REMISSIVO

A

AIS 10, 13
Ajustes de proteção 22, 28, 34, 103
Alocação de Recursos 161
Anarede 48, 49, 52, 54, 60
Anuidades 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20

B

BAR 10, 225
Biodiesel 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 47
BRR 10

C

CAIMI 10, 12, 13, 15, 19
Capacidade Instalada 1, 2, 3, 8
Célula combustível 190, 191, 192, 196
Cenário Energético 1
Chave fusível 96, 98, 110, 114
Chaves Automáticas 161, 162, 163, 164, 167, 168, 171
Comunidades isoladas 36, 38
Confiabilidade 20, 22, 24, 27, 49, 50, 53, 60, 84, 90, 121, 130, 136, 139, 145, 161, 162, 163, 165, 166, 167, 171, 172, 174, 192, 243
Continuidade do Fornecimento 108, 163
Conversor Boost 190
Conversores 147, 148, 175, 176, 190, 191, 192, 201, 203, 204, 209, 248, 249, 252, 258, 259, 260
Conversores conectados à rede 147
Custo operacional 15, 96, 102

D

DEC 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 100, 101, 105, 106, 107, 111, 119, 164, 171
Densidade de Corrente 193, 196, 197, 198, 200, 201, 203, 205, 211, 213, 214, 248, 252, 256
Descargas atmosféricas 89, 90, 92, 93, 94
Desgaste de Contatos 128, 131

E

Energia Solar Fotovoltaica 1, 2, 3, 6, 7, 8, 61

F

Filtro LCL 147, 148, 149
Fluxo de Potência 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 148
Frequência 90, 97, 140, 147, 148, 151, 156, 163, 164, 175, 176, 177, 178, 181, 184, 185, 187, 191, 193, 196, 200, 201, 203, 204, 205, 207, 208, 209, 212, 216, 250, 251, 252, 260

G

Geração de energia 3, 36, 38, 43, 45, 46, 263

Geração Distribuída 2, 3, 4, 6, 9, 61, 62, 64, 65, 72, 73, 161, 162, 167, 172

I

Ilhamento de Geração Distribuída 161

Indicadores de Qualidade de Serviço 108, 118

Índices operacionais 89, 94

Interrupções 89, 90, 91, 92, 93, 94, 105, 106, 108, 118, 120, 134, 135, 163

Isolamento 124, 130, 139, 144, 164, 206, 207, 235, 238, 245

M

Manutenção Preditiva 128, 129, 136

Monitoramento de Disjuntor 128

Monitoramento Digital 108

Monitoramento On-line 128, 129

N

NERC PRC-027-1 21, 22

Núcleos Magnéticos 203, 252, 253, 257

O

Otimização por enxame de partículas 147, 148, 152

P

Perdas 48, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 142, 146, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 203, 204, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 249, 250, 251, 252, 254, 255, 256, 257, 258

Perdas Técnicas 48, 49, 50, 52, 53, 55, 57, 58, 60

Proteção de Sistemas Elétricos 21, 22

PSS Sincal 21, 22, 30, 31, 32, 35

Q

Qualidade de Energia 96, 97, 107, 108, 109, 121

R

Religador monofásico 96, 98, 99, 105

Rendimento 142, 143, 145, 176, 184, 186, 187, 190, 192, 193, 199, 200, 201, 248, 249, 252, 259

Resolução Normativa ANEEL N° 482/2012 61

S

Siguard PSA 21, 22, 30, 31, 33

T

Tecnologia PRE 89

Transformador a óleo 139, 141, 145

Transistores de potência 175, 177

V

Vísceras de peixes 36, 43, 46

Volume 43, 57, 141, 188, 191, 193, 196, 199, 202, 203, 204, 207, 210, 211, 213, 214, 215, 216, 228, 250

