

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

The background is a dark purple gradient with a pattern of white and light blue mathematical and engineering icons. These include gears, a compass, a pencil and ruler, a scale, a network diagram, a calculator, a chemical structure, a magnifying glass, a bell curve, a graph with axes, a book, and various mathematical symbols like pi (3,14), y = cos x, and y = |x|. The main title is enclosed in a white rectangular frame with rounded corners.

Estudos (Inter)
Multidisciplinares
nas Engenharias

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Geraldo Alves
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 Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – 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 Internazionele delle Figlie de 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. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
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. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

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 Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
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 Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
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
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
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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	<p>Estudos (inter) multidisciplinares nas engenharias 1 [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-697-3 DOI 10.22533/at.ed.973190910</p> <p>1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. I. Silva, Helenton Carlos da.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

A obra “*Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 25 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias.

O processo de aprendizagem, hoje em dia, é baseado em um dinamismo de ações condizentes com a dinâmica do mundo em que vivemos, pois a rapidez com que o mundo vem evoluindo tem como chave mestra a velocidade de transmissão das informações.

A engenharia praticada nos dias de hoje é formada por conceitos amplos e as situações a que os profissionais são submetidos mostram que esta onda crescente de tecnologia não denota a necessidade apenas dos conceitos técnicos aprendidos nas escolas.

Desta forma, os engenheiros devem, além de possuir um bom domínio técnico da sua área de formação, possuir domínio também dos conhecimentos multidisciplinares, além de serem portadores de uma visão globalizada.

Este perfil é essencial para o engenheiro atual, e deve ser construído na etapa de sua formação com o desafio de melhorar tais características.

Dentro deste contexto podemos destacar que uma equipe multidisciplinar pode ser definida como um conjunto de profissionais de diferentes disciplinas que trabalham para um objetivo comum.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados aos estudos da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias, com destaque mais diversas engenharias e seus temas de estudos.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A IMPORTÂNCIA DA (INTER) MULTIDISCIPLINARIDADE NAS ENGENHARIAS PARA O DESENVOLVIMENTO E OPERAÇÃO DAS CIDADES INTELIGENTES	
Roberto Righi Roberta Betania Ferreira Squaiella	
DOI 10.22533/at.ed.9731909101	
CAPÍTULO 2	13
ANÁLISE DOS MÉTODOS DE ENSINO E AVALIAÇÕES UTILIZADOS NA GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL	
Elaine Cristina Lengowski Carla Cristina Cassiano	
DOI 10.22533/at.ed.9731909102	
CAPÍTULO 3	26
AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE POSTO DE TRABALHO EM UM ATELIÊ DE SOUVENIRS COM USO DOS MÉTODOS OWAS E DE SUZANNE RODGERS	
Jordy Felipe de Jesus Rocha Maria Vanessa Souza Oliveira Leila Medeiros Santos Bento Francisco dos Santos Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.9731909103	
CAPÍTULO 4	40
AVALIAÇÃO ERGONÔMICA: ESTUDO DE CASO DE VIGILANTES	
Gustavo Francesco de Moraes Dias Diego Raniere Nunes Lima Renato Araújo da Costa Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho Fernanda da Silva de Andrade Moreira Hugo Marcel Flexa Farias Jessica Cristina Conte da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.9731909104	
CAPÍTULO 5	53
ESTILO DE LIDERANÇA QUE O ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO DEVE POSSUIR NA ÓTICA DOS ENGENHEIROS DE PRODUÇÃO DA FACULDADE PARAÍSO DO CEARÁ	
Emmanuela Suzy Medeiros José Valmir Bezerra e Silva Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.9731909105	
CAPÍTULO 6	66
EVOLUÇÃO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A INDÚSTRIA NO BRASIL	
Lídia Silveira Arantes Thales de Oliveira Costa Viegas	
DOI 10.22533/at.ed.9731909106	

CAPÍTULO 7 80

**GOVERNANÇA, RESPONSABILIDADE SOCIAL E SUSTENTABILIDADE:
ENTENDENDO OS FENÔMENOS DE GESTÃO ORGANIZACIONAL**

Leonardo Petrilli
Denize Valéria dos Santos Baia
Juliana Fernanda Monteiro de Souza

DOI 10.22533/at.ed.9731909107

CAPÍTULO 8 93

**PERCEPÇÃO AMBIENTAL DOS ALUNOS DO ENSINO FUNDAMENTAL DE UMA
ESCOLA DA REDE PÚBLICA MUNICIPAL DE PARAUAPEBAS**

Diego Raniere Nunes Lima
Renato Araújo da Costa
Gustavo Francesco de Moraes Dias
Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho

DOI 10.22533/at.ed.9731909108

CAPÍTULO 9 105

**ANÁLISE DO RISCO DE ACIDENTE CAUSADO PELA ALTA TEMPERATURA EM
ALTO-FORNO SIDERÚRGICO NO MUNICÍPIO DE MARABÁ – PA**

Diego Raniere Nunes Lima
Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho
Gustavo Francesco de Moraes Dias
Renato Araújo da Costa

DOI 10.22533/at.ed.9731909109

CAPÍTULO 10 120

**CONFECÇÃO DE BANCADA DIDÁTICA PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS
HIDRELÉTRICOS COM PERSPECTIVA À INTEGRAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0**

Kariston Dias Alves
Gustavo Catusso Balbinot
Artur Vitório Andrade Santos

DOI 10.22533/at.ed.97319091010

CAPÍTULO 11 131

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA ESTUDO DE VIABILIDADE
TÉCNICA DE TERMELÉTRICAS A BIOMASSA NO BRASIL**

Beatriz Gabrielle de Carvalho Pinheiro
Josiane do Socorro Aguiar de Souza Oliveira Campos
Luciano Gonçalves Noleto
Maria Vitória Duarte Ferrari
Tallita Karolline Nunes

DOI 10.22533/at.ed.97319091011

CAPÍTULO 12 143

**DESENVOLVIMENTO DE UM REGULADOR AUTOMÁTICO DE TENSÃO
MICROCONTROLADO UTILIZADO EM GERADORES SÍNCRONOS ISOLADOS**

Guilherme Henrique Alves
Lúcio Rogério Júnior
Antônio Manoel Batista da Silva
Wellington Mrad Joaquim

Luciano Martins Neto

DOI 10.22533/at.ed.97319091012

CAPÍTULO 13 157

DESPACHO ÓTIMO DAS UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA
LUIS EDUARDO MAGALHÃES

Henderson Gomes e Souza

Brunno Henrique Brito

Vailton Alves de Faria

Jabson da Cunha Silva

DOI 10.22533/at.ed.97319091013

CAPÍTULO 14 170

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ÓPTICA E TÉRMICA DE UM COLETOR
PARABÓLICO COMPOSTO COM E SEM EFEITO ESTUFA

Joaquim Teixeira Lopes

Ricardo Fortes de Miranda

Keyll Carlos Ribeiro Martins

Camila Correia Soares

DOI 10.22533/at.ed.97319091014

CAPÍTULO 15 177

EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENDURECIMENTO POR
PRECIPITAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS EM
LIGAS DE AL-SI-MG FUNDIDAS

Albino Moura Guterres

Daniel Beck

Cláudio André Lopes de Oliveira

Juliano Poleze

DOI 10.22533/at.ed.97319091015

CAPÍTULO 16 186

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE PARA CONSUMIDORES DO GRUPO A

Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho

Murilo Miceno Frigo

Gustavo Francesco de Moraes Dias

Diego Raniere Nunes Lima

Renato Araújo da Costa

Timóteo Gonçalves Braga

DOI 10.22533/at.ed.97319091016

CAPÍTULO 17 199

GESTÃO AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS
ELETRÔNICOS NA IMAGEM SOM ELETRÔNICA LTDA

Carla Ruanita Pedroza Maia

Leila Medeiros Santos

Maria Vanessa Souza Oliveira

Bento Francisco dos Santos Júnior

DOI 10.22533/at.ed.97319091017

CAPÍTULO 18	212
INDICADOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Jean Carlos da Luz Pereira Felipe Guimarães Ramos	
DOI 10.22533/at.ed.97319091018	
CAPÍTULO 19	225
INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR DE MODIFICAÇÕES NA CÉLULA FOTOVOLTAICA MONOCRISTALINA DE SILÍCIO	
Marcus André Pereira Oliveira Ana Flávia de Sousa Freitas Thiago Barros Pimentel Adão Lincoln Montel	
DOI 10.22533/at.ed.97319091019	
CAPÍTULO 20	234
UMA APLICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EFICIÊNCIA EXERGÉTICA DAS TURBINAS A VAPOR NAS INDÚSTRIAS SUCROALCOOLEIRAS	
Nancy Lima Costa Maria de Sousa Leite Filha Arthur Gilzeph Farias Almeida Jaciera Dantas Costa Antônio Daniel Buriti de Macêdo José Nunes de Oliveira Neto Jordany Ramalho Silveira Farias José Jefferson da Silva Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.97319091020	
CAPÍTULO 21	242
THE STEAM GENERATION CENTERS AS A VECTOR FOR THE SUGARCANE MILLS EVOLUTION TO THE SUCRO-ENERGETICS PLANTS FORMAT	
Roque Machado de Senna Henrique Senna Rosimeire Aparecida Jerônimo	
DOI 10.22533/at.ed.97319091021	
CAPÍTULO 22	252
ANÁLISE DE CERTIFICADOS DIGITAIS EM DOMÍNIOS BRASILEIROS	
Matheus Aranha Diogo Pereira Artur Ziviani Fábio Borges	
DOI 10.22533/at.ed.97319091022	
CAPÍTULO 23	264
ANÁLISE DO IMPACTO DO ROTEAMENTO ALTERNATIVO EM REDES ÓPTICAS ELÁSTICAS TRANSLÚCIDAS CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS DE DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DE TRANSMISSÃO	
Arthur Hendricks Mendes de Oliveira Helder Alves Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.97319091023	

CAPÍTULO 24	271
SENSORIAMENTO ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO NO MONITORAMENTO HIDRÁULICO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS	
Lidiane Bastos Dorneles Samuel dos Santos Cardoso Samanta Tolentino Ceconello Jocelito Saccol de Sá	
DOI 10.22533/at.ed.97319091024	
CAPÍTULO 25	283
TUTORIAL SOBRE REPETIDORES DE DADOS MÓVEIS	
Carine Mineto Lyang Leme de Medeiros Helder Alves Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.97319091025	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	295
ÍNDICE REMISSIVO	296

DESENVOLVIMENTO DE UM REGULADOR AUTOMÁTICO DE TENSÃO MICROCONTROLADO UTILIZADO EM GERADORES SÍNCRONOS ISOLADOS

Guilherme Henrique Alves

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica
Uberlândia – Minas Gerais

Lúcio Rogério Júnior

Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Elétrica
Uberaba – Minas Gerais

Antônio Manoel Batista da Silva

Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Elétrica
Uberaba – Minas Gerais

Welington Mrad Joaquim

Universidade de Uberaba, Departamento de Física
Uberaba – Minas Gerais

Luciano Martins Neto

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica
Uberlândia – Minas Gerais

RESUMO: Dispositivos responsáveis pelo controle de excitação em máquinas síncronas são, em sua maioria, de alto custo, e utilizam elementos de controle analógicos. Uma alternativa ao uso de controladores eletrônicos analógicos é a tecnologia que utiliza microcontroladores, oferecendo alto nível de eficiência no controle, possibilidade de realizar inúmeras funções de proteção e um circuito com

flexibilidade para implementação de diferentes estratégias de controle. Este trabalho consiste na apresentação de um dispositivo eletrônico de baixo custo, capaz de controlar a excitação de um gerador síncrono de modo automático, utilizando uma malha PID, com controle manual e monitoramento de tensão terminal e temperatura de estator da máquina, utilizando componentes de fácil acesso comercial. Foram construídas duas placas eletrônicas, uma de potência (drive de acionamento) para excitar o gerador e uma de controle microcontrolada, utilizando um firmware desenvolvido em linguagem C. O equipamento foi testado por ensaios práticos em laboratório, verificando a resposta do regulador de tensão, utilizando uma máquina síncrona de pequeno porte acionada por um motor de corrente contínua. A carga para um gerador síncrono de 2 kVA foi estabelecida empregando motores de indução. Os resultados foram obtidos através de partidas diretas de motores de indução de 1 e 2 CV, mostrando que a atuação do controlador recuperou a tensão terminal da máquina geradora de forma rápida, regulando-a para o Setpoint ajustado. O tempo de resposta do regulador desenvolvido foi menor, quando comparado a um regulador comercial, comprovando a sua funcionalidade.

PALAVRAS-CHAVE: Gerador Síncrono Isolado; Microcontrolador PIC; Regulador Automático de Tensão; Sistema de Excitação.

DEVELOPMENT OF AN MICROCONTROLLED AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR USED IN ISOLATED SYNCHRONOUS GENERATORS

ABSTRACT: Devices responsible for excitation control in synchronous machines are mostly costly, and use analog control elements. An alternative to the use of analogue electronic controllers is the technology that uses microcontrollers, offering a high level of control efficiency, the possibility of performing numerous protection functions and a circuit with flexibility to implement different control strategies. This work consists in the presentation of an electronic device of low cost, capable of controlling the excitation of a synchronous generator in an automatic way, using a PID mesh, with manual control and monitoring of terminal voltage and stator temperature of the machine, using components of easy commercial access. Two electronic boards were built, one of power (drive drive) to excite the generator and one of microcontrolled control, using a firmware developed in C language. The equipment was tested by practical laboratory tests, verifying the response of the voltage regulator, using a small synchronous machine driven by a DC motor. The load for a 2 kVA synchronous generator was established using induction motors. The results were obtained through direct starters of induction motors of 1 and 2 CV, showing that the actuation of the controller recovered the terminal voltage of the generating machine quickly, adjusting it to the adjusted Setpoint. The response time of the developed regulator was lower when compared to a commercial regulator, proving its functionality.

KEYWORDS: Isolated Synchronous Generator; PIC Microcontroller; Automatic Voltage Regulator; Excitation System.

1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas os avanços na fabricação de dispositivos eletrônicos ocorreram cada vez mais rápido, agregando mais recursos e funcionalidades (MALVINO e BATES, 2011), contribuindo para uma crescente evolução nos sistemas de controle utilizados para excitação de máquinas síncronas. Durante muito tempo, os circuitos analógicos possibilitaram a implementação de inúmeras formas de estratégias de controle. Os sistemas de excitação mais recentes são construídos utilizando a tecnologia digital para circuitos de controle, medição e interface, aliados à utilização de dispositivos tiristores de potência. As funções de controle, de proteção e lógicas, têm sido implementadas digitalmente, essencialmente aumentando a flexibilidade e a multifuncionalidade do equipamento (HABIBABADI, 2011), duplicando as funções previamente proporcionada pelo circuito analógico.

O regulador automático de tensão é composto por um sistema inteligente que controla a saída de uma excitatriz, de modo a gerar mudanças na tensão terminal e energia reativa na forma desejada em um gerador síncrono. Em épocas passadas, a excitatriz da maioria dos sistemas era constituída por um gerador de corrente contínua, montada no eixo da própria máquina síncrona (GUIMARÃES, 2008), utilizando um

sistema de regulação de tensão totalmente manual. O nível de tensão terminal era monitorado através de um voltímetro, e controlado por meio de um reostato de campo, possibilitando a regulação de tensão de saída de acordo com o valor desejado (SILVA, 2015).

Nos sistemas modernos, o regulador automático de tensão trabalha como um controlador que detecta a tensão de saída do gerador, e imediatamente, inicia a ação corretiva, alterando as ações do controle de excitação de acordo com o Setpoint estabelecido. Uma alternativa bastante eficaz e com alta flexibilidade é o controle digital em malha fechada, oferecendo a possibilidade utilizar diferentes algoritmos, em conjunto com drives de disparo através de dispositivos semicondutores de potência (ARAÚJO, TORRICO-BASCOPE, ANTUNES, SÁ, 2006).

Entretanto, equipamentos responsáveis pelo controle de excitação em máquinas síncronas devem detectar instantaneamente as mudanças causadas pela entrada de carga no gerador isolado, atuando no sistema de excitação de forma rápida e eficiente, com objetivo de manter a tensão terminal regulada dentro dos limites desejados (ANDERSON e FOUAD, 2003).

Um bom projeto de AVR (Automatic Voltage Regulator), combinado com a parametrização correta do controlador, é fator indispensável para manter a tensão terminal do gerador em níveis desejados. É importante destacar que máquinas elétricas são projetadas para operarem com alta eficiência, quando submetidas a uma faixa de alimentação nominal. Níveis de tensão fora dessa faixa, por muito tempo, conduzirão a um baixo desempenho de tais equipamentos (VAN WYK, KHAN, BARENDSE, 2011).

Inúmeras pesquisas relacionadas ao controle e manutenção dos níveis de tensão de geradores isolados vem sendo desenvolvidas. Podem ser destacadas técnicas como a utilização de banco de capacitores para atenuação do afundamento de tensão em períodos transitórios (SILVA, 2015) e a utilização de circuitos *self-starting* para alimentar de forma suave o enrolamento de campo da máquina nos instantes iniciais da partida do gerador (LEE, KIM, AHN, 2008). Portanto, devido à flexibilidade das atuais tecnologias digitais, o controle, monitoramento e proteção do sistema, com a utilização de displays, teclados, avisos sonoros e conectividade a outros instrumentos, aos quais são utilizados circuitos microcontrolados, podem ser mais versáteis quando comparados aos controladores analógicos.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a construção de um regulador automático de tensão de baixo custo, com ampla disponibilidade de componentes para reparo, eficiente para pequenas potências, com reduzido tempo de resposta para partidas de motores de indução, com todo sistema de controle realizado por um microcontrolador.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento das placas eletrônicas foi realizado no laboratório de Máquinas e Acionamentos Elétricos da Universidade de Uberaba. Foram construídas duas placas eletrônicas, uma de potência (drive de acionamento) para disparar a excitação da máquina e uma placa de medição e controle.

O circuito drive de acionamento (Figura 1) foi composto por uma fonte CC (corrente contínua) de +180V/6A, para alimentação do indutor de campo do gerador síncrono. Duas fontes de níveis menores +12V/100mA e -5V/100mA foram utilizadas para alimentação do restante do circuito. Um circuito oscilador PWM, composto por um circuito integrado 555 na configuração astável, possibilitou o ajuste manual do sinal de controle. A seleção manual e automático foi realizada por uma chave seletora e o disparo de saída feito por um MOSFET IRFP264 de alta velocidade e alta capacidade de corrente de dreno.

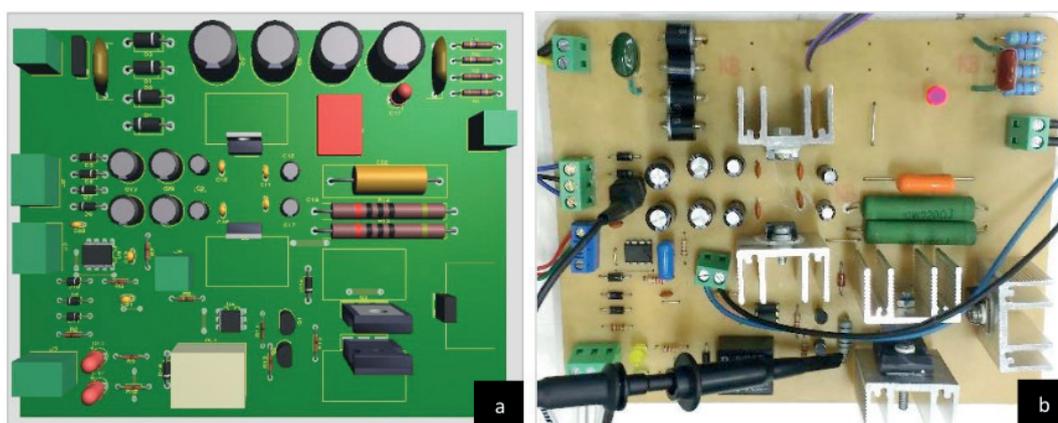


Figura 1. Placa do drive de acionamento (a) Layout do circuito em 3D (b) Placa em funcionamento

O circuito de medição e controle (Figura 2) foi composto por um circuito de aquisição, atenuação e retificação do valor da tensão entre linhas dos terminais da máquina síncrona. Um transformador abaixador 220/12V realizava a amostragem do sinal do gerador. Após ser retificado, o sinal amostrado é enviado para estágios com amplificadores operacionais (circuito integrado LM324), responsáveis por ajustar o valor medido entre 0 a 5V e enviar para a entrada analógica do microcontrolador.

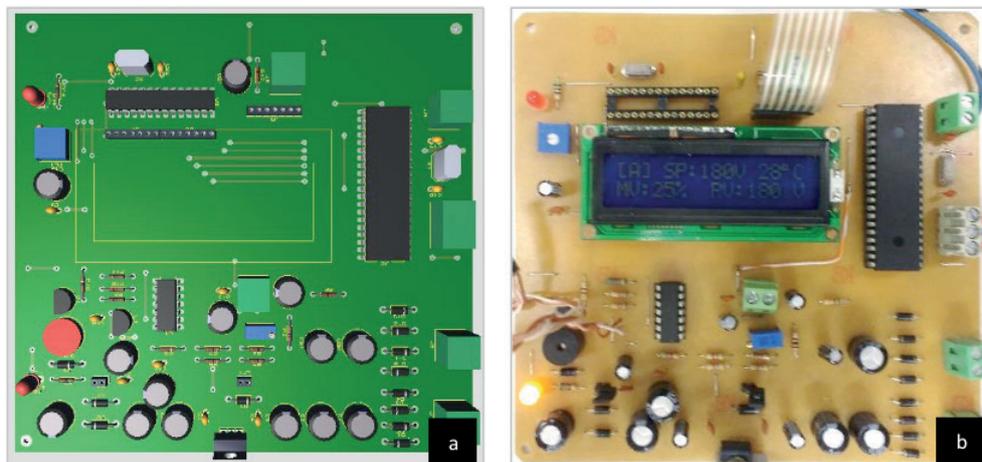


Figura 2. Placa de medição e controle (a) Layout do circuito em 3D (b) Placa em funcionamento

A medição de temperatura do estator do gerador foi realizada pelo sensor LM35, oferecendo boa precisão para esta aplicação. Uma fonte de +6VCC alimentou todo o circuito de controle e amplificação. O teclado alfanumérico de 12 teclas e um display de cristal líquido 16x2 realizaram a interface entre o usuário e a equipamento, possibilitando ajustes dos ganhos PID, monitoramento de tensão e temperatura do sistema. Nas opções do menu do display de cristal líquido foi possibilitada a configuração do sinal de controle PWM em malha fechada ou aberta, conforme a necessidade do operador.

A placa de controle possui um display de cristal líquido 16x2 com a função principal de realizar a interface entre o usuário e o dispositivo. Com um menu inicial de fácil operação, (Figura 3.a), realizam-se todas configurações em relação ao controle, como: ajustes de ganhos do PID, Set Point e seleção para inicialização do sistema em manual ou automático, conforme a necessidade do operador.

Toda vez que o controlador for ajustado para iniciar o controle, manual ou automático, uma tela de monitoramento será apresentada no menu, para informar ao operador os valores atualizados do Set Point (SP), PWM (MV), (PV) e temperatura do estator da máquina, conforme a Figura 3.b.

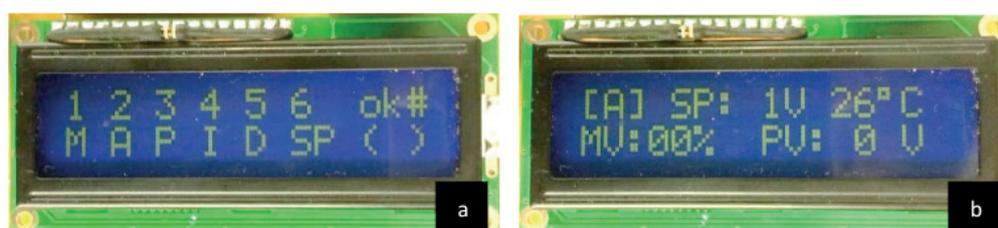


Figura 3. Interface com display lcd (a) Tela do menu principal (b) Tela de operação automática

Para o mecanismo de controle foi utilizado um microcontrolador de arquitetura RISC (Reduced Instruction Set Computer) de 8bits, o PIC 16F877A fabricado pela Microchip. Além de baixo custo e fácil acesso comercial este microcontrolador é composto por 3 timers, 2 módulos PWM (Pulse Width Modulation), 8 canais de

conversão analógico-digital de 10 bits, 8k words de memória de programa e operação em até 20MHz (MICROCHIP, 2013).

O programa do microcontrolador (firmware) foi desenvolvido em linguagem C, utilizando uma IDE (Integrated Development Environment) que trabalha com microcontroladores da família PIC 12/16/18. O firmware realiza um controle combinando três ações: proporcional, integral e derivativo, denominadas PID. Este controlador pode ser apresentado pela equação 2.1 (OGATA, 2011):

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad 2.1$$

Onde K_p representa o ganho proporcional, T_d o tempo derivativo, T_i o tempo integral do controlador, $e(t)$ a diferença entre o valor desejado e o valor medido (erro) e $u(t)$ a saída do controlador PID.

No microcontrolador, este tipo de controlador é realizado através de um algoritmo PID baseado em acumulação. Este processo consiste na aproximação de uma função de transferência do controlador no domínio contínuo em um equivalente numérico que possa ser implementado através de técnicas de cálculos numéricos (KULARATNA, 2000) (CRENSHAW, 2000). O diagrama de blocos em malha fechada para um sistema de controle digital é apresentado na Figura 4.

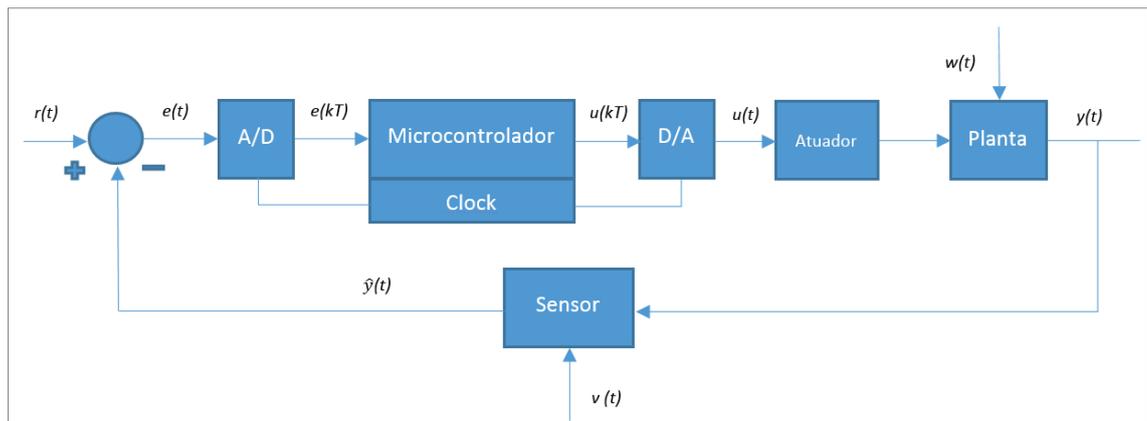


Figura 4. Diagrama de blocos de um sistema em malha fechada utilizando um microcontrolador

Onde: r = valor desejado ou Setpoint; u = entrada para atuador; y = variável de processo; \hat{y} = variável medida; $e = r - \hat{y}$ = sinal de erro; v = sinal de ruído; A/D = conversor analógico digital; D/A = conversor digital analógico.

Numericamente, uma das formas baseadas na acumulação, a integral basicamente trata-se de uma acumulação de infinita de um somatório. Se considerado um tempo fixo entre as amostras, a integral tomará a forma de um somatório do erro discreto (Equação 2.2) (KULARATNA, 2000) (CRENSHAW, 2000).

$$\int_a^b e(t) dt \cong \sum_{t=a}^b e[t]. dt \quad 2.2$$

A derivada por definição é a taxa de variação do erro decorrente, ou seja, a variação do erro em um intervalo de tempo tendendo a zero. A ação derivativa passa a ser uma subtração do erro corrente e do anterior dividido pela taxa de amostragem (Equação 2.3) (KULARATNA, 2000) (CRENSHAW, 2000).

$$\frac{de(t)}{dt} \cong \frac{e[t + dt] - e[t]}{dt} \quad 2.3$$

É possível quantificar “dt” como sendo o intervalo entre amostras, obtendo a operação integral (2.4) e derivativa discreta (Equação 2.5) (KULARATNA, 2000) (CRENSHAW, 2000).

$$\int_a^b e(t)dt \cong \sum_{t=0}^n e[n].ts \quad 2.4$$

$$\frac{de(t)}{dt} \cong \frac{e[n] - e[n - 1]}{ts} \quad 2.5$$

Onde n representa a posição de uma dada amostra corrente, e ts é o tempo da taxa de amostragem.

Por fim, inserindo os valores dos ganhos das ações, pode-se obter a seguinte equação 2.6 discretizada de um compensador tipo PID (KULARATNA, 2000) (CRENSHAW, 2000).

$$u[n] = Kp.e[n] + Ki.\sum_{k=0}^n e[k] + Kd.(e[n] - e[n - 1]) \quad 2.6$$

Nota-se que o termo ts, por ser um valor constante, foi abstraído da equação e inserido “dentro” dos coeficientes Ki e Kd. O termo integral se traduz em acumular as amostras, e o termo derivativo em subtrair o valor atual do anterior.

Com os projetos de hardware e software finalizados, o regulador automático de tensão desenvolvido foi utilizado para testes experimentais no Laboratório de Máquinas Elétricas da Universidade Federal de Uberlândia (Figura 5).

Os testes foram realizados na máquina síncrona de pequeno porte com potência de 2 kVA, acoplada a um motor de corrente contínua, como fonte de energia primária do sistema. Como tratou-se de um projeto piloto de um regulador de tensão foi escolhida uma máquina pequena de 2kVA para os testes experimentais.

Com objetivo de verificar o funcionamento do regulador proposto foram realizados três ensaios no laboratório: o primeiro utilizando o gerador a vazio, o segundo com o gerador partindo um motor de indução de 1 Cv e o terceiro com o gerador partindo um motor de 2 Cv.

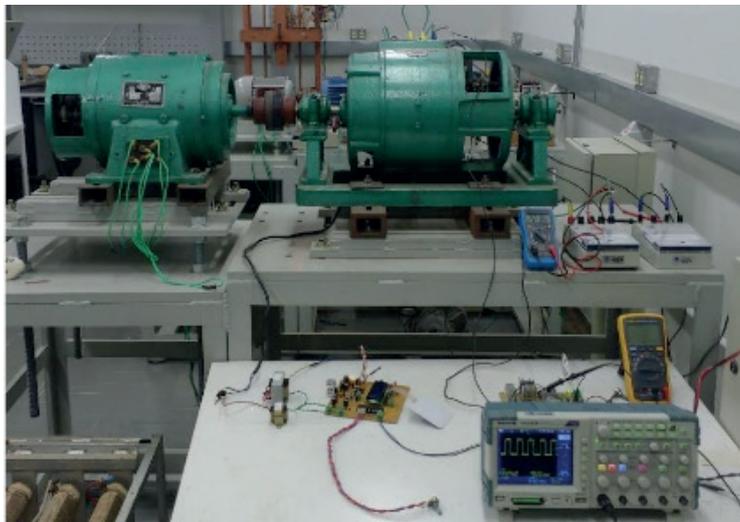


Figura 5. Diagrama de blocos de um sistema em malha fechada utilizando um microcontrolador

Foi realizada ainda uma comparação das características da atuação do projeto desenvolvido com o regulador automático de tensão estático MA330AVR, da empresa AvK, muito encontrado no mercado.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro ensaio, ajustou-se a velocidade do eixo gerador em 1800 RPM para obter uma onda senoidal de frequência 60 Hz nos terminais da máquina síncrona de 4 polos. Em seguida foi ajustado o set-point da tensão entre linhas em 220 Vrms e os ganhos proporcional e integral do PID em uma unidade. Como se observa nas Figuras 6 e 7, o gerador levou mais que 2,4 segundos para atingir o valor de tensão desejado, pelo fato da utilização de baixos valores de ganhos no controlador.

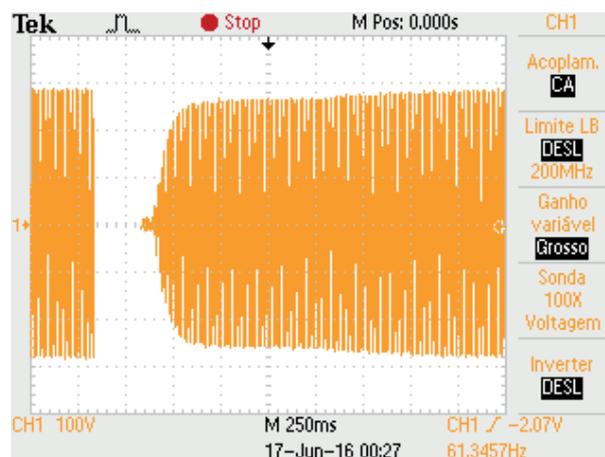


Figura 6. Medição da saída do gerador feita pelo osciloscópio – Ganhos $k_p = 1$ e $k_i = 1$

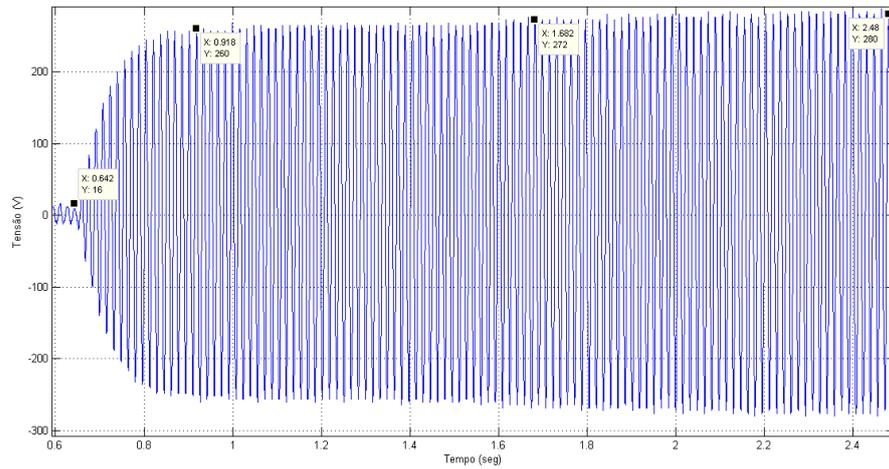


Figura 7. Plotagem dos pontos exportados para o Matlab – Ganhos $k_p = 1$ e $k_i = 1$

Em seguida, foi desligado o sistema e reajustado o controlador para o mesmo Setpoint (220Vrms), porém, com valores maiores de ganhos proporcional e integral a 3,2 e 2,3, respectivamente (Figuras 8 e 9).

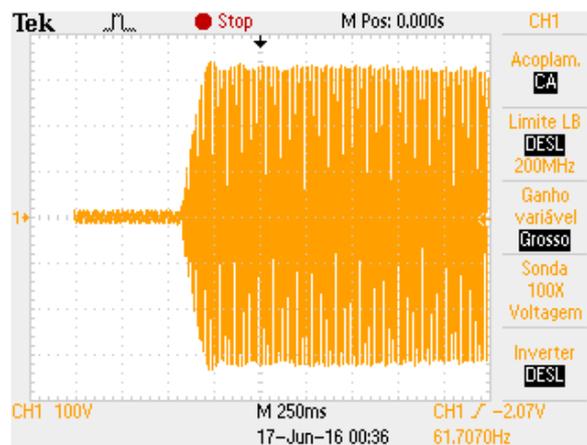


Figura 8. Medição da saída do gerador feita pelo osciloscópio – Ganhos $k_p = 3,2$ e $k_i = 2,3$

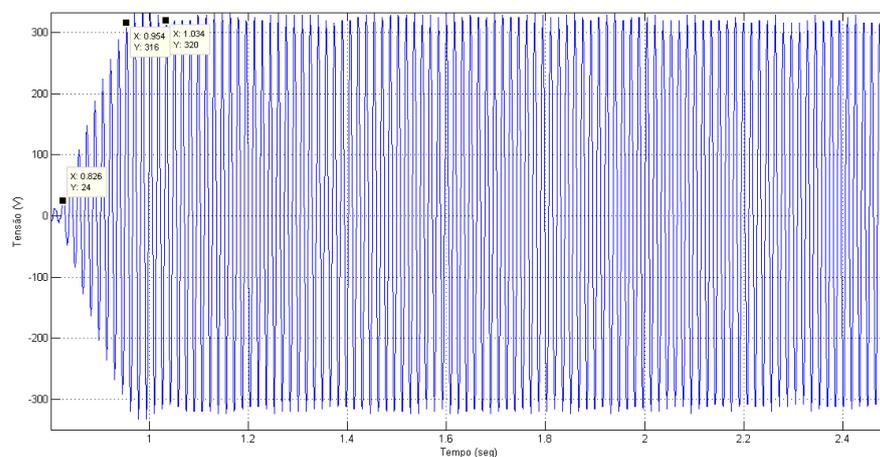


Figura 9. Plotagem dos pontos exportados para o Matlab – Ganhos $k_p = 3,2$ e $k_i = 2,3$

No segundo ensaio, realizou-se uma partida direta do motor de indução trifásico de potência 1Cv. Foi ajustado o Setpoint em 220 Vrms, com ganhos do proporcional e integral iguais a 4,1 e 3,4, respectivamente. O registro do osciloscópio, ilustrado na figura 10, mostra o afundamento de tensão nos terminais do gerador síncrono, causado pela partida direta de um motor de indução de 1 Cv. Nota-se que o nível de tensão de pico caiu de 320V para 156V no instante após a partida. O controle do sistema levou em torno de 206 ms (Figura 11) para retornar ao valor de tensão de pico terminal da máquina para próximo do valor de Setpoint ajustado.

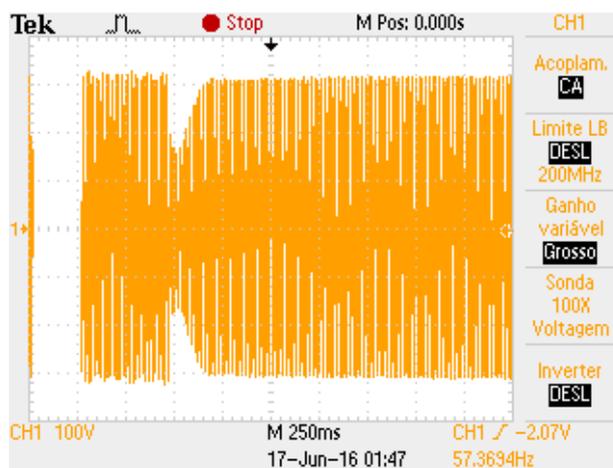


Figura 10. Medição da saída do gerador feita pelo osciloscópio – Ganhos $k_p = 4,1$ e $K_i = 3,4$

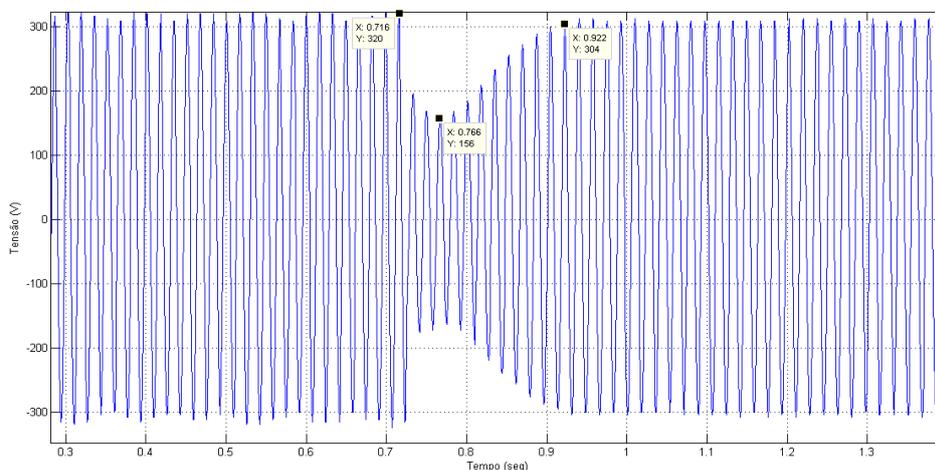


Figura 11. Plotagem dos pontos exportados para o Matlab – Ganhos $k_p = 4,1$ e $K_i = 3,4$

No terceiro ensaio, realizou-se a partida direta de um motor de indução com potência nominal de 2 Cv. No primeiro momento, inseriu-se o Setpoint em 220 Vrms no controlador, e foram configurados os ganhos proporcional e integral do controlador em 1,55 e 1,1, respectivamente. Como mostrado nas figuras 12 e 13, o nível de tensão levou mais que 4 segundos para atingir o valor de pico desejado e o afundamento máximo da tensão de pico foi de aproximadamente 56 V.

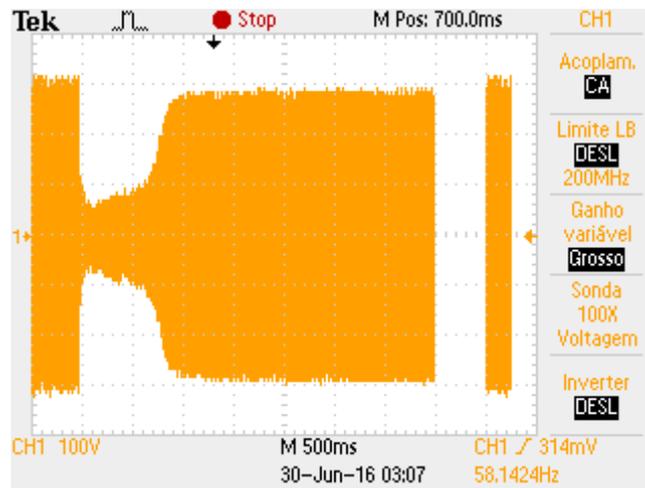


Figura 12. Medição da saída do gerador feita pelo osciloscópio – Ganhos $k_p = 1,55$ e $k_i = 1,1$

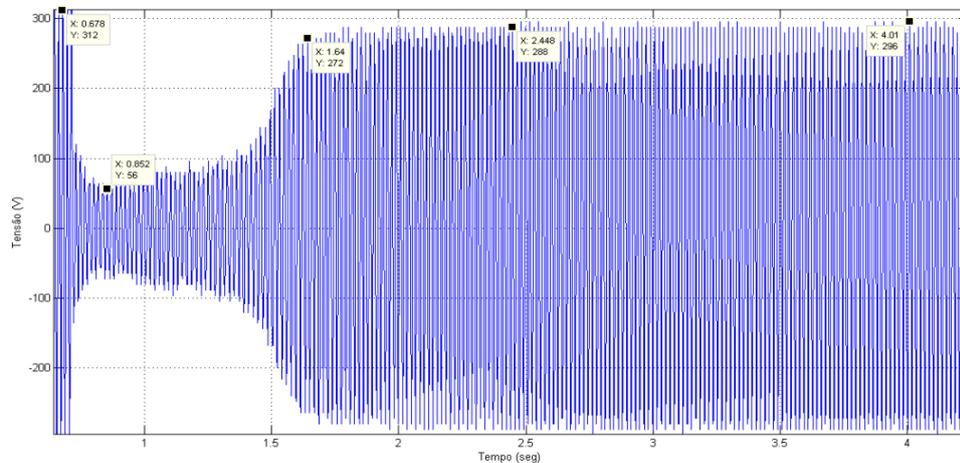


Figura 13. Plotagem dos pontos exportados para o Matlab – Ganhos $k_p = 1,55$ e $k_i = 1,1$

No segundo momento, foi mantido o valor de set-point anterior, porém substituídos os valores de ganhos proporcional e integral para 4,6 e 3,6 respectivamente. Como mostram as figuras 14 e 15, o controlador retornou ao valor de tensão de pico desejado em, aproximadamente, 940 ms, e a tensão caiu para 88V no momento do afundamento, causado pela partida direta do motor de indução de 2 Cv.

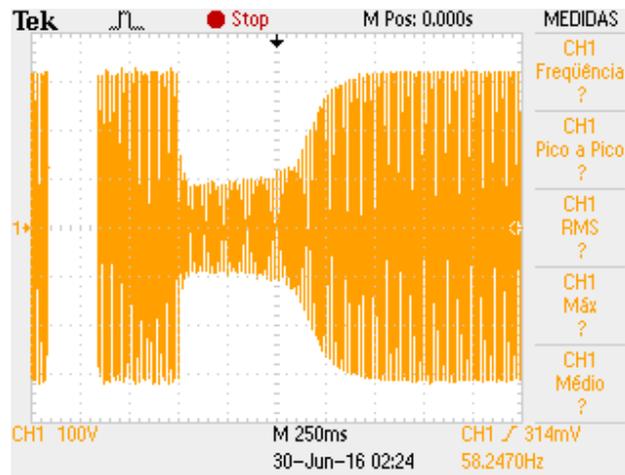


Figura 14. Medição da saída do gerador feita pelo osciloscópio – Ganhos $k_p = 4,6$ e $K_i = 3,6$

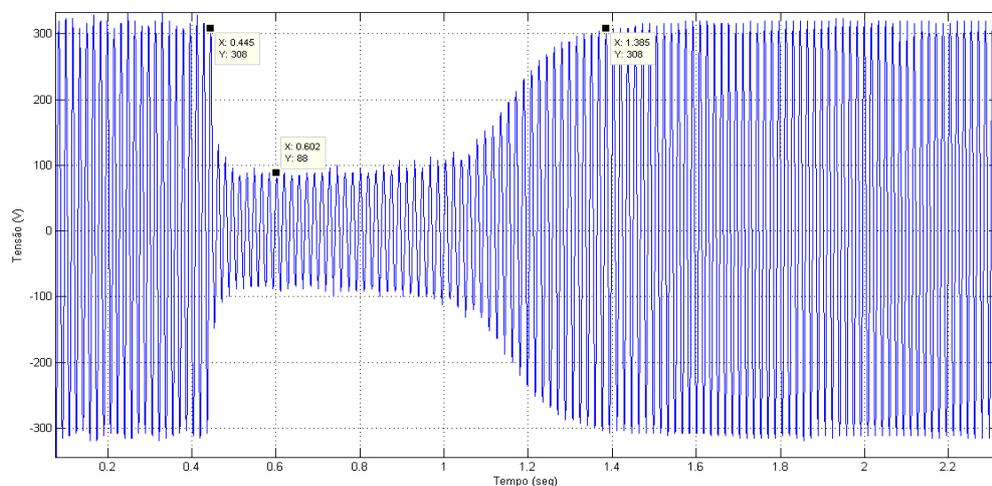


Figura 15. Plotagem dos pontos exportados para o Matlab – Ganhos $k_p = 4,6$ e $K_i = 3,6$

O regulador de tensão automático comercial da empresa AvK, modelo MA330AVR, foi utilizado para comparação com o regulador desenvolvido neste trabalho. Para os dois reguladores, foram semelhantes os níveis de tensão de alimentação, a tensão CC de excitação e a corrente máxima de alimentação do campo da máquina.

As características de tempo de resposta do gerador a uma perturbação do sistema é um parâmetro de extrema importância a ser avaliado nos sistemas eletrônicos para controle de excitação existentes. O MA330AVR conta com uma resposta típica de 300ms para ajustar o nível de tensão terminal de um gerador síncrono à vazio até, aproximadamente, 97% do seu valor de nominal. Já o controlador construído neste trabalho utiliza um controle PID implementado de forma digital.

No sistema proposto, os ganhos podem ser inseridos conforme a necessidade do usuário do sistema. Conforme os resultados apresentados, uma resposta para Setpoint ajustado em 220V levou em torno de 130ms. Isso mostra a grande flexibilidade do controlador utilizando uma malha PID para controle de um sistema de geração, em relação ao MA330AVR, onde a velocidade de atuação do controlador é pré-definida

de fábrica e não pode ser alterada.

O MA330AVR apresenta algumas vantagens em relação às funções de proteção disponíveis, como proteção eletromagnética, sobre-excitação do campo, sobretensão terminal e subfrequência do gerador, apresentando maior número de recursos em relação ao proposto neste trabalho. Entretanto, essas funções podem ser facilmente implementadas no microcontrolador PIC16F877A para trabalhos futuros.

4 | CONCLUSÃO

Nos testes experimentais realizados, os resultados do controle de tensão entre linhas foram considerados bons e atenderam às expectativas para testes com o gerador síncrono de 2kVA em todos os casos. Os níveis de tensão eficaz mostrados no display ficaram bem próximos aos valores medidos com o osciloscópio digital.

O regulador se mostrou bastante eficaz em partidas de motores de indução trifásicos, com tempos de recuperação do nível de tensão terminal de aproximadamente 206 e 940 ms para máquinas de 1 e 2 Cv, respectivamente.

Foi possível verificar que os resultados dos ensaios foram satisfatórios, observados pela comparação entre o regulador proposto e um equipamento comercial, validando a proposta deste trabalho na construção de reguladores de tensão com microcontroladores de baixo custo para atuarem em geradores síncronos isolados.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, P.; FOUAD, A. A. Power System Control and Stability. 2. Ed. Piscataway, N.J.: IEEE Press; Wiley-Interscience, 2003.

GUIMARÃES, G. C. Apostila do Curso de Dinâmica de Sistemas Elétricos, Parte I. Modelagem de uma Máquina Síncrona e seus Controles para Estudo de Estabilidade Transitória. UFU, Uberlândia, MG, 2008.

LEE, D. H; KIM, T, H; AHN, J, W. Control of Digital AVR in Stand Alone Generator for Improved Dynamic Characteristics. 2008. Kyungsoong University. Dept of Electrical and Mechatronics Engineering. Busan, Coreia do Sul.

MALVINO, A.; BATES, D.J. Eletrônica, 7. Ed. Porto Alegre: Editora Mc Graw Hill, 2011. 672 p.

MICROCHIP PIC16F87XA Data Sheet 28/40/44-Pin Enhanced FlashMicrocontrollers. 2013 Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292D.pdf>>. Acesso em: 10 Abr 2019.

OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno, 5. Ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 2011. 824 p.

SILVA, F. B. Atenuação do Afundamento de Tensão em Geradores Síncronos Isolados quando Submetidos a Partida Direta de Motores de Indução. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia.

HABIBABADI, R. A. New General Method for Digital Differential Protection Relay. 2011. Islamic Azad University. Natanz, Iran.

ARAÚJO, S.V; TORRICO-BASCOPE, R. P; ANTUNES, F.L.M; SÁ, E. M. Stand alone Photovoltaic System using an UPS Inverter and a Microcontrolled Battery Charger based on a Boost Converter with a 3 State-Commutation Cell. 2006. Federal University of Ceará. Electrical Engineering Department. Fortaleza-CE, Brazil.

VAN WYK, A.L; KHAN, M.A; BARENDSE, P. Impact of Over/Under and Voltage Unbalanced supplies on Energy-Efficient motors. 2011. University of Cape Town. Cape Town, South Africa.

KULARATNA, N. Digital control using digital signal processing. 2000. IEEE Circuits and Devices Magazine, 47 p.

CRENSHAW, J.W. Math Toolkit for Real-Time Development. 2000. Publishers Group West.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alto forno 105, 108

B

Bancada didática 120, 123, 129, 273, 274, 277, 281, 282

C

Cartografia 131

Casca de arroz 131, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 140

Cidades Inteligentes (CI) 1, 5, 7, 8

Comissionamento das unidades hidrelétricas 157, 165, 167

Concentrador solar 170

Conscientização ambiental 93

CPC 170, 171, 172, 175, 176

D

Dimensionamento 170, 171, 175, 176, 193

E

Educação ambiental 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104

Educação na escola 93

Energia solar 170, 171, 186, 187, 228, 233

Engenheiro de produção 53, 54, 55, 58, 59, 61, 62, 63, 64

Ensino universitário 13

Ergonomia 26, 27, 28, 35, 40, 41, 42, 51, 52, 58, 295

Estilo de liderança 53, 54, 55, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64

F

Fenômenos organizacionais 80

Função de produção hidrelétrica 160, 169

G

Gerador síncrono isolado 143

Governança corporativa 80, 82, 88, 89, 90, 91

I

Índice de aproveitamento 13

Indústria 4.0 120, 122, 123, 125, 126, 128, 129, 130

Inovação 3, 6, 7, 8, 57, 66, 67, 68, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 281, 295

(Inter) Multidisciplinaridade 1, 2, 9

L

Liderança 38, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65

M

Método de Suzanne Rodgers 26, 28, 29, 34

Métodologias ativas 13

Método OWAS 26, 42, 44, 45, 50, 51

Microcontrolador PIC 143

Miniusinas 131, 139

O

Óptica 170, 175, 264, 265, 266, 268, 282, 285, 286, 287

P

Plano diretor 1

Política industrial 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79

Política pública 66

Prevenção a acidentes 105

Programação não-linear inteira-mista 157, 158, 162

Projetos urbanos 1

Q

Questionário nórdico 26, 30, 34, 37

R

Regulador automático de tensão 143, 144, 145, 149, 150

Responsabilidade social 58, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 200

S

Saúde do colaborador 26

Segurança do trabalho 38, 40, 52, 58, 295

Sistema de excitação 143, 145

Sistemas hidrelétricos 120, 121, 123, 124, 129, 130, 157

Sustentabilidade 7, 10, 58, 71, 80, 82, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 104, 295

T

Tecnologia da informação e comunicação (TIC) 1, 2, 3, 12

Temas transversais 93, 96, 98, 103, 127

Temperatura 36, 37, 105, 106, 107, 108, 109, 112, 116, 117, 118, 143, 147, 170, 172, 173, 174, 175, 179, 218, 220, 225, 226, 227, 229, 230, 231, 232, 233, 238, 282

V

Vigilância 40, 45, 47, 50

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-697-3



9 788572 476973