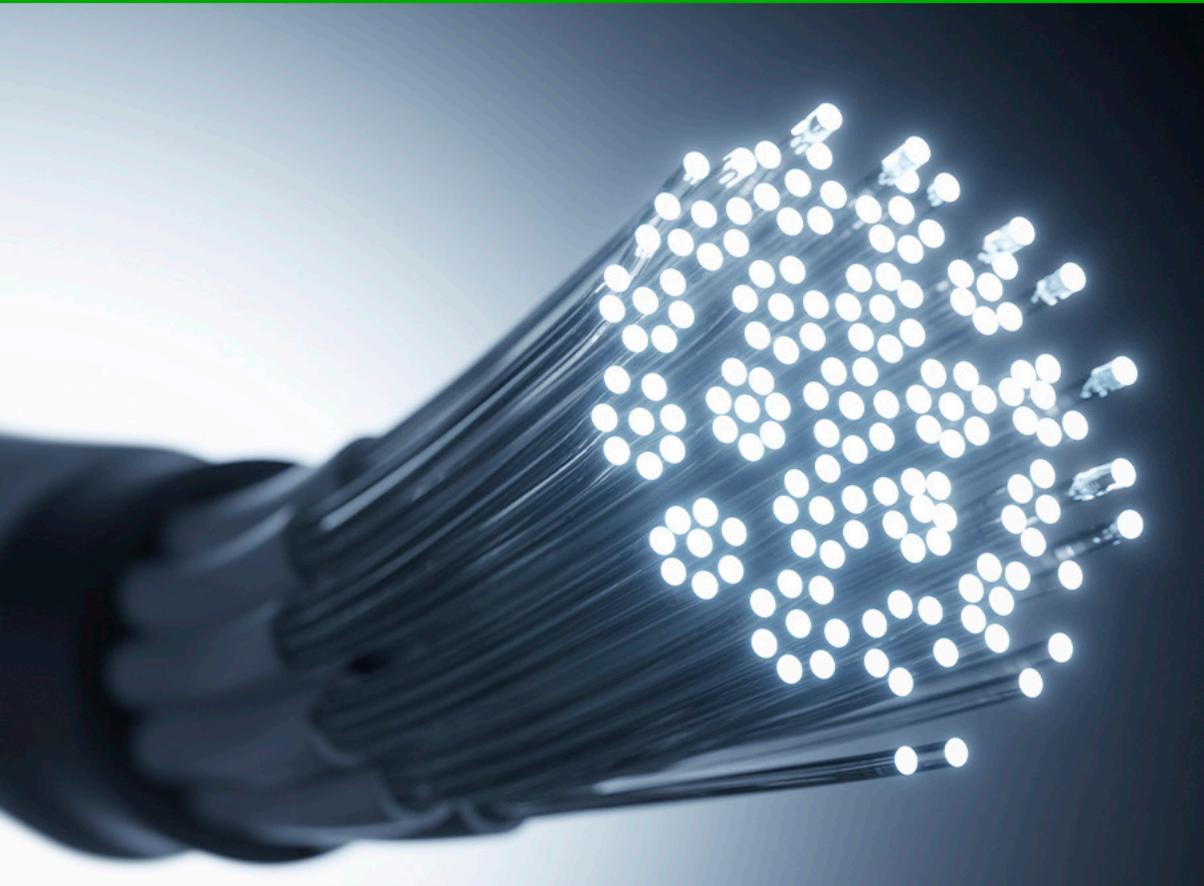


COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2

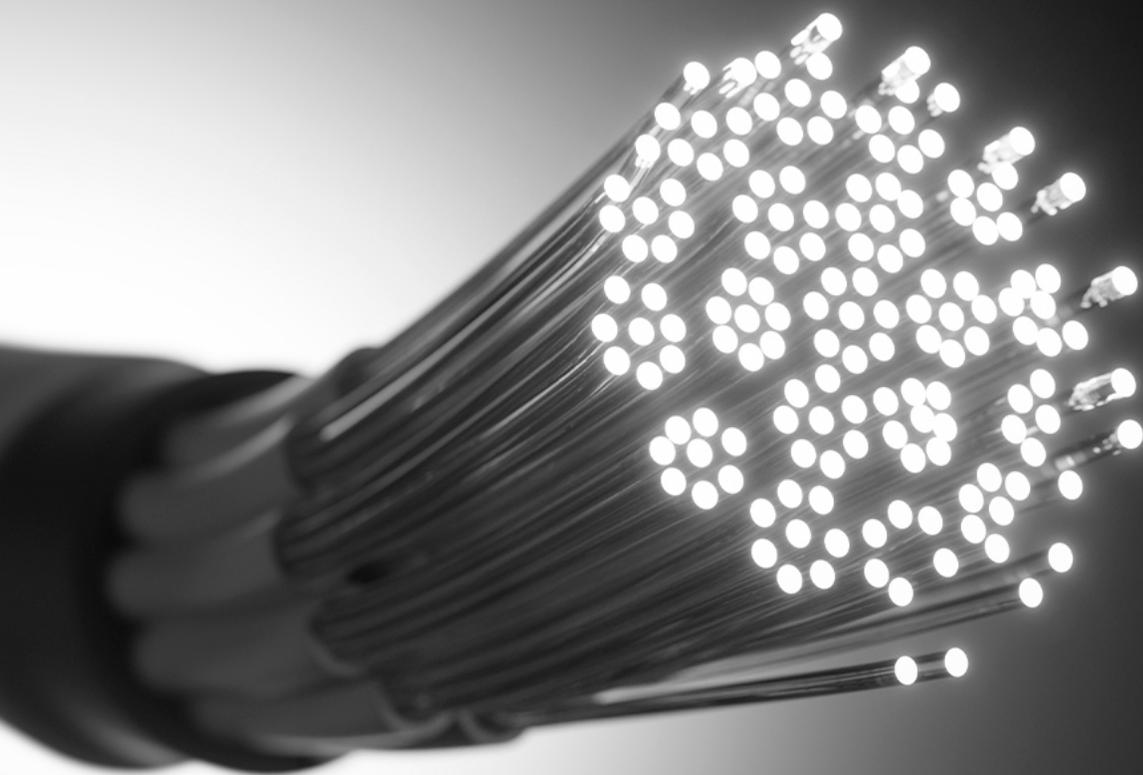


JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)


Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2



JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)


Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia elétrica 2 /
Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz
Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-556-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.560211910>

1. Engenharia elétrica. I. Dallamuta, João
(Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III.
Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

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

PHOTODETECTOR OPTIC POWER OPTIMIZATION TO INCREASE THE GAIN ON SUB-OCTAVE MICROWAVE PHOTONIC LINK

Naiara Tieme Mippo
Paulo Henrique Kiohara Acyoli Bastos
Felipe Streitenberger Ivo
Olympio Lucchini Coutinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119101>

CAPÍTULO 2..... 14

OPTOELECTRONIC SENSOR APPLIED TO FLOW RATE MEASUREMENTS ON OIL AND GAS INDUSTRY

Alexandre Silva Allil
Fabio da Silva Dutra
Cesar Cosenza de Carvalho
Regina Célia da Silva Barros Allil
Marcelo Martins Werneck

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119102>

CAPÍTULO 3..... 25

ANÁLISE DO ENVELHECIMENTO, PRECISÃO E EXATIDÃO EM SENSORES ÓTICOS FBG E RFBG QUE MEDEM TEMPERATURAS ENTRE 5 °C E 60 °C POR 16 SEMANAS

Karoline Akemi Sato
Camila Carvalho de Moura
Antonio Carlos Ribeiro Filho
Luis Camilo Jussiani Moreira
Valmir de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119103>

CAPÍTULO 4..... 38

EVALUACIÓN PARA INVERSIÓN CON OPTIMIZACIÓN DE SECCIÓN CONDUCTOR Y TENSIÓN DE DISTRIBUCIÓN. APLICACIÓN DE LOS ALGORITMOS DEL LEY DE KELVIN

Christian Arturo Ramirez Osorio
Enrique Buzarquis
Rodney Damián Fariña Martínez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119104>

CAPÍTULO 5..... 55

STRATEGIES OF VOLTAGE CONTROL BASED IN FUZZY LOGIC ALGORITHMS WITH ALTERNATIVE, CLEAN AND RENEWABLE GENERATION OPERATING WITH ANOTHER CONVENTIONAL ELECTRIC GENERATION IN WITH RADIAL LOADS IN POWER SYSTEMS STABILITY

Rodney Damián Fariña Martínez
Antonio Carlos Zambroni de Souza
Eliane Valença Nascimento de Lorenci

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119105>

CAPÍTULO 6..... 72

ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS E ELETROMECAÑICOS” DA ENERGIZAÇÃO DA LT 500KV AYOLAS-VILLA HAYES SEM REATOR DESDE A CENTRAL HIDRELÉTRICA ITAIPÚ

Elisandro Rodriguez Buzarquis
Rodney Damián Fariña Martínez
Antônio Carlos Zambroni de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119106>

CAPÍTULO 7..... 86

TRANSMISSÃO DE ENERGIA SEM FIO POR MEIO DE ACOPLAMENTO MAGNÉTICO RESSONANTE COM METAMATERIAIS CONVENCIONAIS E SUPERCONDUTORES

Arthur Henrique de Lima Ferreira
Lucas Douglas Ribeiro
Rose Mary de Souza Batalha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119107>

CAPÍTULO 8..... 96

DEGRADAÇÃO POR POTENCIAL INDUZIDO (PID): REVISÃO

Hellen Ferreira Barreto Miranda
Luan Peixoto da Costa
Stefhany Oliveira Soares
Jonathan Velasco da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119108>

CAPÍTULO 9..... 108

CAPACITOR BANK ALLOCATION IN DISTRIBUTION SYSTEMS USING THE DISCRETE PSO ALGORITHM

Luís Henrique Chouay Dall’ Agnese
Carlos Roberto Mendonça da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119109>

CAPÍTULO 10..... 119

DESIGN OF A TRANSMISSION-LINE METAMATERIAL WITH A NEGATIVE INDEX OF REFRACTION AT S-BAND

Lucas Douglas Ribeiro
Juscelino Júnior de Oliveira
Arthur Henrique de Lima Ferreira
Rose Mary de Souza Batalha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191010>

CAPÍTULO 11..... 129

RADIO PROPAGAÇÃO E MODELAGEM PARA UMA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS

PARA LTE

Alaim de Jesus Leão Costa
Thiago Eleuterio da Silva
Diego Kasuo Nakata da Silva
Leslye Estefania Castro Eras

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191011>

CAPÍTULO 12..... 141

TESTES DE IMUNIDADE CONTRA SURTOS ELÉTRICOS EM ELETRODOMÉSTICOS

Gustavo Oliveira Cavalcanti
Marcílio André Félix Feitosa
Kayro Félyx Henrique Pereira
Manoel Henrique da Nóbrega Marinho
Antonio Samuel Neto
Lucas de Carvalho Sobral
Pollyana Maria Ramos Gonçalves
Douglas Thiago Moreira Lara
Thiago Francisco Gomes
Renato Jardim Teixeira
Wagner Almeida Barbosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191012>

CAPÍTULO 13..... 152

AUTOMAÇÃO DA ILUMINAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - O SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO DALI: UM ESTUDO DE CASO

Marcos Noboru Kurata
Ênio Carlos Segatto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191013>

CAPÍTULO 14..... 163

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS E CONSTRUTIVAS NO EIXO DO ROTOR EÓLICO

Leonardo Pavan
Evandro André Konopatzki
Cristiane Lionço de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191014>

CAPÍTULO 15..... 172

VIABILIDADE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO NA REGIÃO DO RECÔNCAVO DA BAHIA

Gabriel Garcia Bastos de Almeida
Luanna Valéria Sousa Fonseca
Andréa Jaqueira da Silva Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191015>

SOBRE OS ORGANIZADORES 183

ÍNDICE REMISSIVO..... 184

CAPÍTULO 6

ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS E ELETROMECAÑNICOS” DA ENERGIZAÇÃO DA LT 500KV AYOLAS-VILLA HAYES SEM REATOR DESDE A CENTRAL HIDRELÉTRICA ITAIPÚ

Data de aceite: 01/10/2021

Elisandro Rodriguez Buzarquis

ANDE

Rodney Damián Fariña Martínez

UNIFEI

Antônio Carlos Zambroni de Souza

UNIFEI

RESUMO: Este trabalho técnico apresenta um resumo dos estudos de energização no “Regime Transitório e Dinâmico” considerando o comissionamento da Linha de Transmissão de 500kV entre as Subestações AYOLAS e VILLA HAYES com 350km de extensão (sem ter reatores no final do extremo de VHA). Com o comissionamento desta linha de transmissão de 500kV, pretende-se interligar blocos de carga previamente energizados em níveis de 220kV, alimentados a partir da Usina Hidrelétrica ITAIPÚ (compartilhada entre o Paraguai e a Brasil).

PALAVRAS-CHAVE: Estudos de transitórios eletromagnéticos (ETEmg), Estudos de transitórios eletromecânicos (ETEmc), efeito Ferranti, Sobretensões temporárias (TOV), LT 500kV AYO-VHA, Central hidrelétrica Itaipu (CH-IPU), regime permanente (RP).

“STUDIES OF ELECTROMAGNETIC AND ELECTROMECHANICAL TRANSIENTS” OF THE TL 500KV AYOLAS-VILLA HAYES; ENERGIZATION WITHOUT REACTOR SINCE THE ITAIPÚ HYDROELECTRIC

POWER PLANT

ABSTRACT: This technical work presents a summary of the energization studies in the “Transitional and Dynamic Regime” considering the commissioning of the 500kV Transmission Line between AYOLAS and VILLA HAYES Substations with 350km in length (without having reactors at the end of the VHA end). With the commissioning of this 500kV transmission line, the intention is to interconnect load blocks previously energized at 220kV levels, fed from the ITAIPÚ Hydroelectric Power Plant (shared between Paraguay and Brazil).

KEYWORDS: Electromagnetic transient studies (ETSmg), Electromechanical transient studies (ETSmc), Ferranti effect, Temporary overvoltages (TOV), LT 500kV AYO-VHA, Itaipu hydroelectric plant (CH-IPU), permanent regime (RP).

1 | INTRODUÇÃO

Quando uma linha de transmissão (LT) é projetada, o comissionamento desta, em termos de energização, operação, proteção e aspectos energéticos ou económicos, devem justificar o alcance da mesma. Os estudos (inerentes à energização e operação) de RP, transitórios eletromagnéticos e eletromecânicos, devem prever o comportamento e o desempenho da operatividade da LT. Em alguns casos devido a assuntos políticos, económicos, carência de tempo ou situações fora do contexto técnico, não permitem completar todas as obras associadas ao comissionamento final da obra principal. A

LT 500kV AYO-VHA e seus elementos associados surgiu como um nexo para a integração dos sistemas elétricos de Argentina, Brasil e Paraguai. Estudos de interligação regional se encontram em desenvolvimento, além disso, a LT pode ser operada em sua condição transitória, para obter o maior proveito da mesma no sistema de potência de Paraguai. Este estudo aporta informação importante e relevante para a operação da LT dentro do sistema elétrico da ANDE.

Finalmente, neste trabalho técnico se apresentam os resultados dos estudos da energização e operação (desde a CH-IPU), da LT de 500kV de AYO-VHA, com um comprimento aproximado de 350km, injetando em seu extremo terminal uma potência reativa de aproximadamente 350MVar, devido principalmente ao efeito Ferranti.

2 I ABORDAGEM TEÓRICA. EFEITO FERRANTI E TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS

2.1 LT DE GRANDES COMPRIMENTOS E EFEITO FERRANTI

Em situações donde uma LT está operando em condição radial ou em períodos de carga leve, a tensão no terminal receptor poderia ser muito mais elevada que do emissor. Este fenómeno é denominado efeito Ferranti e converte a uma LT em uma “geradora de potência reativa” não lineal em função da tensão [1].

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c} \quad (1)$$

A equação (1) descreve que a potência reativa capacitiva (MVar) é diretamente proporcional ao quadrado da tensão (Volts) e inversamente proporcional à reatância capacitiva (ohm) da LT.

O efeito “Ferranti” descreve o estranho fenómeno que baixo certas condições de frequência e comprimento de linha um aumento na tensão pode ser observado na mesma, quando o extremo se encontra aberto, em relação a uma tensão de entrada senoidal. O efeito foi descoberto no final do século XIX durante a instalação de um sistema de distribuição baseado em CA na Grã-Bretanha. Na verdade, foi durante a guerra técnica e comercial que atingiu os Estados Unidos entre a Westinghouse e Nikola Tesla como principais propulsores e Thomas Edison. Os primeiros propuseram um sistema CA em quanto Edison propunha comercialmente um sistema de CD. No Reino Unido, foi “Sebastian Ziani de Ferranti” quem, como fervoroso defensor dos sistemas CA, instalou um sistema de distribuição de corrente alternada com níveis de média tensão e reduzindo os transformadores. Em um sistema de transmissão CA, Ferranti observou que, adicionando seções de distribuição adicionais, isto é, aumentando o comprimento total da linha de transmissão, a tensão na linha aumentava localmente (Figura 1). De fato, o fenómeno foi observado pela primeira vez na Linha de transmissão Deptford - London, que em algumas lâmpadas de fibra de carbono aumentou

a luminosidade quando seções foram adicionadas na distribuição. Deve notar-se que o sistema tinha uma carga de apenas um par de lâmpadas de baixo consumo, enquanto a potência do gerador excedia ligeiramente 935 kW. Assim, Ferranti determinou que o efeito foi acentuado com o LT aberto na sua extremidade [2].

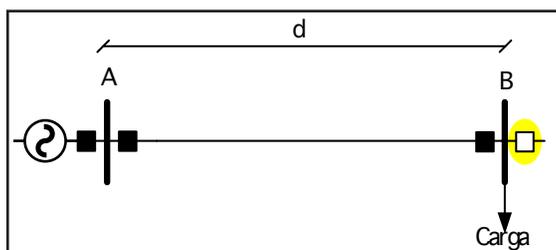


Figura 1. LT entre os nós 'A' e 'B', separadas por uma distancia elétrica 'd'.

2.2 TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS

A análise de transitórios (o simplesmente transitórios) dos circuitos elétricos é tão importante como os análise de estado estável. Quando ocorrem estes transitórios, as correntes e tensões em algumas partes do circuito podem superar varias vezes os valores de comportamento normal e em consequência pode deteriorar o equipamento. O estado transitório pode ser distinguido de seu estado estável, mesmo que durante os transitórios, magnitudes como correntes, tensões, potência e energia, se modificam no tempo, enquanto que em estado estacionário permanecem invariáveis, é dizer, constante (em operação de CD) ou periódica (em operação de CA) que possui ângulos de fase e amplitudes constantes. A causa dos transitórios pode ser qualquer tipo de mudança nos parâmetros do circuito e/ou na configuração, que geralmente ocorre devido à comutação, curto circuito e/ou circuito aberto, mudanças de operação das fontes, etc. As mudanças das correntes e tensões durante os transitórios não são instantâneas e têm um tempo de retardo, além de isso que são extremadamente rápidos com uma duração de milissegundos ou mesmo microssegundos. Porém, estas mudanças rápidas nem são instantâneas (ou abruptos) porque os processos transitórios são logrados a través do intercambio de energia, que geralmente são armazenadas nos campo magnéticos das indutâncias e/ou nos campos elétricos das capacitâncias. Qualquer variação na energia não pode ser abrupta (porque a potencia é uma derivada da energia, $p = dw / dt$), e que está em contraste com a realidade física. Todas as variações transitórias, que também são chamadas respostas transitórios (o simplesmente respostas), se desvanecem e, logo de sua desaparición, se estabelece uma nova operação em estado estável. Então é possível dizer que o transitório descreve o comportamento do circuito entro dois estados estáveis: um que anterior às mudanças, e outro novo que surge depois das mudanças [3].

3 I ETEMG DA LT 500KV AYO-VHA DESDE LA CH-IPU

Nestes tipos de estudos são também abordados os estudos de reconexão e rejeição de carga e devem se desenvolver dentro das atividades do desenho básico dos seguintes objetivos principais [4]:

- Avaliar as sobretensões transitórias máximas que vai impor nas subestações e os terminais das linhas de transmissão.
- Avaliar a dissipação de energia dos descarregadores de linha, considerando o dimensionamento dessa equipe desde o ponto de vista da capacidade de absorção de energia (kJ/kV).
- Verificar a adequação da coordenação de isolamento das estruturas de transmissão de surtos de manobras, com a integração do projeto básico.

3.1 CONSIDERAÇÕES PRINCIPAIS

As manobras de energização da LT 500kV AYO-VHA, foram analisadas nas barras das subestações AYO e VHA para a verificação de possíveis sobretensões temporárias e/ou permanentes das equipes involucrados da LT, sempre com fonte da CH-IPU, como se observa na figura 2. É abordado que os fenômenos analisados cumpram com os requisitos básicos em termos de energização transitória de linhas de transmissão elétrica. Os casos de energização da LT foram feitas a través de um programa computacional de transitórios eletromagnéticos (EMTP - Electromagnetic Transient Program).

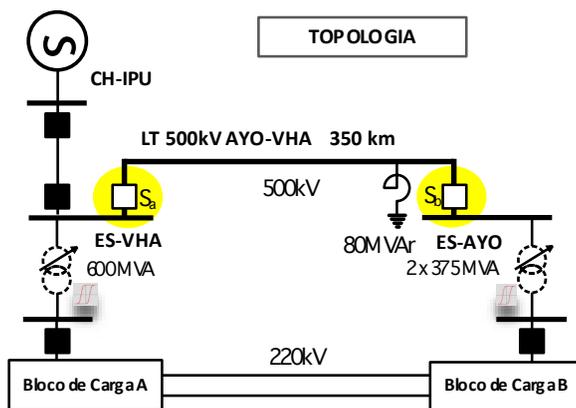


Figura 2. Circuito equivalente utilizado para os ETEmg da LT 500kV AYO-VHA.

Na figura 2 se observa o circuito equivalente a ser utilizados nos ETEmg. Serão mostrados os resultados obtidos da energização da LT desde cada extremo terminal a través dos interruptores ' S_a ' e ' S_b '.

3.2 CRITÉRIOS DE TENSÃO ADOTADOS

- Em barras de 500kV, para sobretensões transitórias de manobra (SIL), se admite um nível de isolamento de 1.175kV com um margem do 15%, é dizer, os valores máximos de surtos de tensão obtidos nas simulações de manobras não devem superar os 999kV.
- Em barras de 220kV, se admite um SIL de 1.050 kV com um margem do 15%, é dizer, os valores máximos de surtos de tensão não devem superar os 892kV.
- As tensões máximas de RP devem ser inferiores a 1,100 p.u. em barras próximas à geração.
- Nos casos de estudo de energização da LT foram abordadas energizadas sistemáticas, estadísticas e finalmente determinísticas para obter as maiores solicitações de tensão nas barras envolvidas.
- Desempenho dos descarregadores de 500kV de $E \leq 3276\text{kJ}$.

3.3 SEQUENCIA DE ENERGIZAÇÃO DOS ETEmg DOS DIFERENTES CENÁRIOS

- As energizações foram realizadas de forma sequencial e separadas.
- Os casos de estado estacionário são análogos a os de regímen transitório.
- O sistema é alimentado desde a CH-IPU (Figura 2).
- A LT 500kV AYO-VHA é energizada desde o interruptor 'S_a'.
- A LT 500kV AYO-VHA é energizada desde o interruptor 'S_b'.
- Os blocos de carga 'A' e 'B' são interligados a través dos interruptores S_a e S_b.

3.4 CONDIÇÕES INICIAIS DOS CASOS DE FLUXO DE POTENCIA

- A CH-IPU alimenta ao HDVC de FURNAS e ao Sistema Interligado Nacional de Paraguai antes da energização da LT 500kV AYO-VHA.
- A tensão de pre-energização em barras da ES-VHA está na ordem dos 0,900 p.u. (450kV).
- Os blocos de carga 'A e B' estão previamente energizados com fonte da CH-IPU.
- O extremo terminal da LT de 500kV a ser energizada conta como reator de neutro de 80MVAR e está conectada à barra de 500kV dessa subestação.
- Todos os elementos de controle de tensão estão operando em condições normais e com o sistema de potência preparado para a energização com fonte da CH-IPU.

3.5 RESULTADOS OBTIDOS DOS ETEmg.

A continuação, são apresentados os resultados obtidos dos ETEmg das energizações da LT desde o terminal de AYO e desde o terminal de VHA. OS resultados são apresentados em termos de tensão nas barras de 500kV das EESS VHA e AYO, e a energia dissipada pelos descarregadores de sobretensão das barras análogas a VHA e AYO.

3.5.1 ENERGIZAÇÃO DA LT 500KV AYO-VHA DESDE A ES-VHA (interruptor “S_a”)

ES-VHA - 500kV (kV / pu) - Lado da CH-IPU					
Antes de energizar a LT		Maior surto de tensão		Post-energização da LT	
kV	pu	kV	pu	kV	pu
475	0,950	650	1,300	516	1,032

ES-AYO - 500kV (kV / pu) - Terminal da LT					
Antes de energizar a LT		Maior surto de tensão		Post-energização da LT	
kV	pu	kV	pu	kV	pu
0	0,000	892	1,785	538	1,076

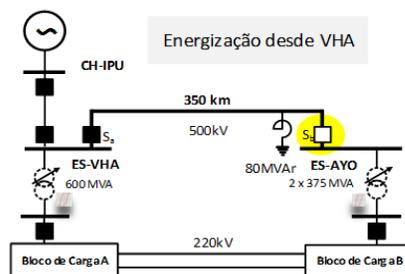


Figura 3. Energização da LT desde VHA e aberto no terminal de AYO.

A figura 3 mostra as tensões das barras de VHA e AYO, quando a LT é energizada desde o interruptor “S_a”. Não são observadas sobretensões temporais que fiquem fora dos critérios normais adotados. Não se registram tensões de post-energização que superem os limites estabelecidos dos 1,100 p.u. em RP.

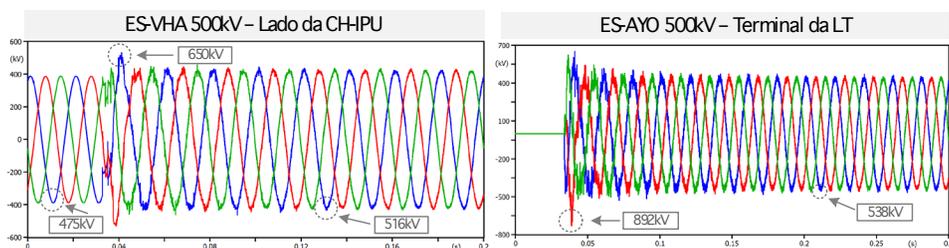


Figura 4. Tensões em barras de VHA e AYO 500kV.

Da “figura 4” se extraem as seguintes informações:

- Máxima sobretensão transitória na “ES-AYO”, $892\text{kV (f-f)}_{\text{RMS}} \cong 728\text{kV (f-n)}_{\text{PEAK}} \ll 999\text{kV (f-n)}_{\text{PEAK}}$
- Tensão de estabelecimento a 1 s na “ES-AYO”, $310\text{kV (f-n)}_{\text{RMS}} \ll 318\text{kV (f-n)}_{\text{RMS}}$, é dizer, $1,076 \text{ p.u.} < 1,100 \text{ p.u.}$

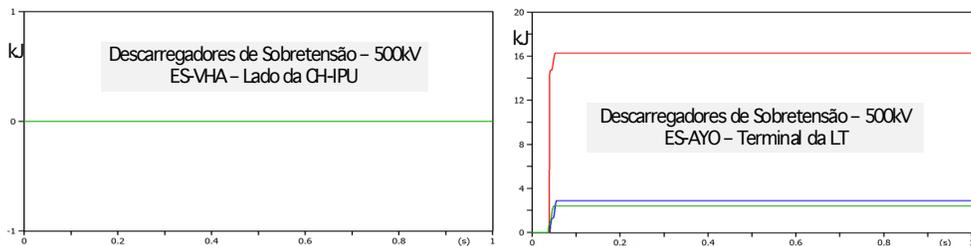


Figura 5. Energia dissipada pelos descarregadores de sobretensão de VHA e AYO 500kV.

Com respeito ao rendimento dos descarregadores de sobretensão ZNO de 500kV, a “figura 5” mostra a seguinte observação:

- Não se observa excitação dos descarregadores de sobretensão ZNO de 500kV da ES-VHA (barra mais próxima à CH-IPU).
- É registrada a excitação dos descarregadores de ZNO da ES-AYO, com uma dissipação de energia na ordem dos 16kJ, muito inferior aos 3.276kJ estabelecidos como critério.

3.5.2 ENERGIZAÇÃO DA LT 500KV AYO-VHA DESDE A ES-AYO (interruptor “S_p”)

SE-VHA - 500kV (kV / pu) - Terminal da LT					
Antes de energizar a LT		Maior surto de tensão		Post-energização da LT	
kV	pu	kV	pu	kV	pu
0	0,000	973	1,946	733	1,467

SE-AYO - 500kV (kV / pu) - Lado da CH-IPU					
Antes de energizar a LT		Maior surto de tensão		Post-energização da LT	
kV	pu	kV	pu	kV	pu
485	0,970	848	1,700	685	1,371

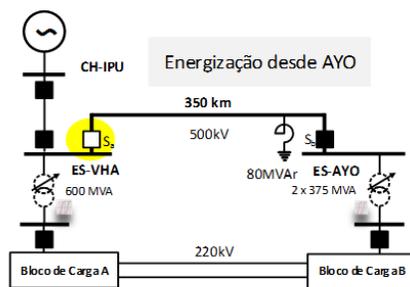


Figura 6. Energização da LT desde VHA e aberto no terminal de VHA.

A figura 6 mostra as tensões das barras de VHA e AYO, quando a LT é energizada desde o interruptor “S_p”. Não são observadas tensões temporárias que ultrapassem os valores abordados nos critérios em quanto a surtos de tensão transitórias, porém, as tensões de post-energização registram valores muito por encima das tensões permitidas de regímen permanente como $V \leq 1,100$ p.u. (efeito Ferranti).

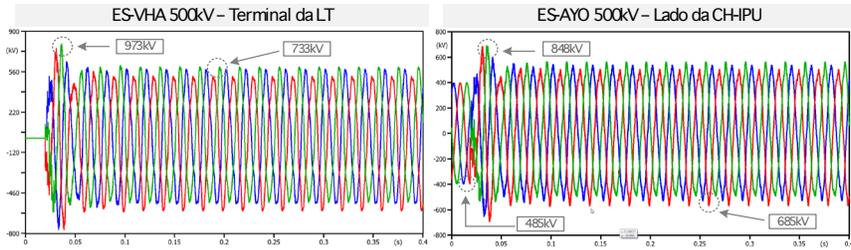


Figura 7. Tensões em barras de VHA e AYO 500kV.

Da figura “figura 7” se extraem as seguintes informações:

- Máxima sobretensão transitória na “ES-VHA”, $973\text{kV (f-f)}_{\text{RMS}} \cong 794\text{kV (f-n)}_{\text{PEAK}} < 999\text{kV (f-n)}_{\text{PEAK}}$
- A tensão de estabelecimento a 1 s na “ES-VHA”, $423\text{kV (f-n)}_{\text{RMS}} \gg 318\text{kV (f-n)}_{\text{RMS}}$ é dizer, $1,467 \text{ p.u.} \gg 1,100 \text{ p.u.}$, 37% mais do estabelecido nos critérios de tensão de RP.

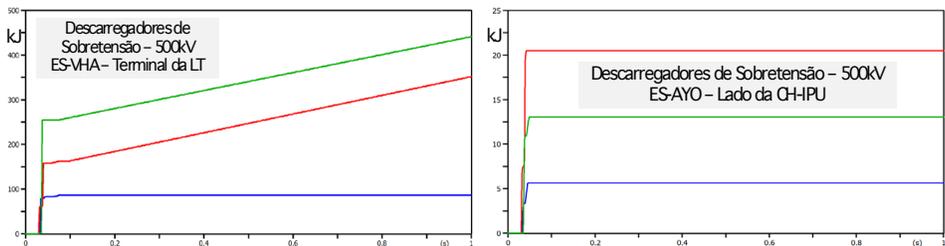


Figura 8. Energia dissipada pelos descarregadores de sobretensão de VHA e AYO 500kV.

Com respeito ao rendimento dos descarregadores de sobretensão ZNO de 500kV, a “figura 5” mostra a seguinte observação:

- São observados uns valores dissipação de energia dos descarregadores da ES-VHA de comportamento crescente que poderia ocasionar a perda de isolamento dos elementos do sistema, principalmente para os casos de tensão de post-energização (RP). Este fenómeno se intensificaria com a perda e esgotamento dos controles de tensão do sistema de potência como Centro Estático de Reativos, Banco de capacitores, TAP e outros.
- É registrada a excitação dos descarregadores de ZNO da ES-AYO, com uma dissipação de energia na ordem dos 20kJ, muito inferior aos 3.276kJ estabelecidos como critério.

4 | ABORDAGEM TEÓRICA. TRANSITÓRIOS ELETROMECAÑICOS

Nesta parte do trabalho técnico se abordará mis fenómenos eletromecânicos associados à energização da LT de 500kV AYO-VHA, e la explicação dos resultados obtidos em termos dinâmicos do sistema de potência. O objetivo destes estudos é o de complementar e respaldar os resultados obtidos previamente nos análises de regímen permanente e de transitórios eletromagnéticos. Por enquanto, se pretende fazer um barrido de todas as variantes possíveis dos fenómenos que poderiam acarrear como o resultado da energização da LT de 500kV. Os estudos de estabilidade eletromecânica dos sistemas elétricos estão relacionados com o análise do comportamento de 'este' depois das perturbações. O tipo de perturbação do modelado que se deve utilizar na representação do sistema elétrico. Como resultado destas perturbações, que geralmente se devem a mudanças estruturais repentinos na rede elétrica, o sistema deixa o ponto de funcionamento estável nele que se encontrava e tende a estabelecer em outro ponto de operação. As unidades geradoras estão sujeitas a acelerações e desacelerações de tal intensidade que certas unidades ou grupos de unidades podem perder sincronismo entre elas o com o sistema. Dependendo da natureza e duração da perturbação, o comportamento dos controles eletromecânicos das unidades geradoras pode ser amortecido ou não, terminando em um novo ponto de funcionamento estável o colapso do sistema [6]. Possivelmente, a classificação mais importante do fenômeno dinâmico é o rango do tempo de resposta natural. A classificação típica é mostrada na figura 9. O conceito similar foi apresentado em [7].

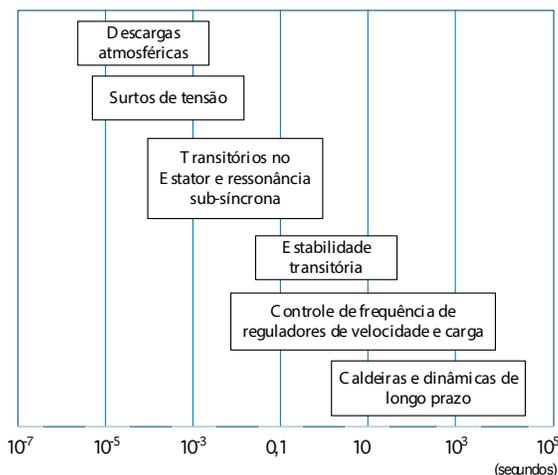


Figura 9. Rango de tempos do fenómeno Dinâmico. Adaptado de [7].

5.1 ETEMC DA LT 500KV AYO-VHA DESDE LA CH-IPU

Na seguinte seção se analisaram as duas condições topológicas quando a LT 500kV AYO-VHA é energizada desde a CH-IPU como o objetivo de determinar o comportamento dinâmico dos sistema de potência. Foram feitos todos os modelos dinâmicos do sistema de potencia estudado como central elétrica de geração, compensadores estáticos de potência reativa e outros parâmetros elétricos (transformadores, LT, cargas, capacitores, etc.).

5.1 CONSIDERAÇÕES PRINCIPAIS

- Os blocos de carga estão previamente energizadas em níveis de 220kV com fonte da CH-IPU.
- A energização da LT é feita a partir dos interruptores “ S_a ” e “ S_b ” e de forma separada.
- A LT é energizada desde o interruptor “ S_a ”. Logo os blocos de carga “**A**” e “**B**” são interligados a través do interruptor “ S_b ” (figura 3).
- A LT é energizada a través do interruptor “ S_b ”. Logo os blocos de carga “**A**” e “**B**” são interligados a través do interruptor “ S_a ” (figura 6).
- Todos os casos dinâmicos são análogos aos casos de RP e de transitórios eletromagnéticos.
- Através do uso de um programa computacional de ETEmc, foram feitas as análises de sobretensões temporais a frequência industrial fundamental (TOV). Assim, os principais resultados obtidos a frequência industrial são apresentados a seguir e respaldados por os estudos de RP e de ETEmg.

5.2 RESULTADOS OBTIDOS DOS ETEmc.

5.2.1 Energização da LT de 500kV AYO-VHA desde o terminal de VHA

As seguintes análises correspondem à energização a través do interruptor ‘ S_a ’ com fonte da CH-IPU.

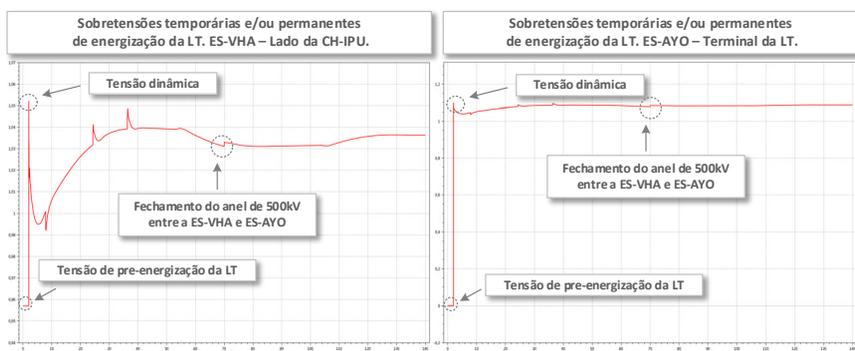


Figura 10. TOV em barras da ES-VHA e ES-AYO com posterior fechamento de anel.

Para as condições de operação estudadas, energizações da LT 500kV AYO-VHA desde o terminal de AYO com fonte de IPU, se observa tensões dinâmicas e de post-energização dentro dos critérios estabelecidos como são mostradas na “figura 10”. Porém, é importante ter em conta que o valor da tensão de RP na barra da ES-AYO (extremo terminal aberto da LT) está próximo aos 1,100 p.u. (Limite de tensão de regime permanente em emergência).

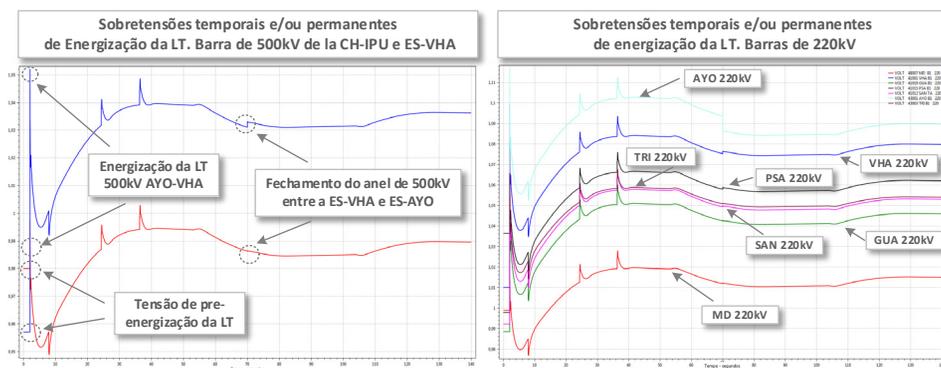


Figura 11. À esquerda TOV nas barras de 500kV da CH-IPU. À direita TOV em barras de 220kV de varias subestações. Energização da LT desde o terminal de VHA.

A “figura 11”, à esquerda, mostra a tensão em barras de 500kV da SE-MD. Se observam tensões na ordem dos 1,42 p.u. (521kV) de curta duração, não representando valores que estimulem anomalias ao controle dos geradores da CH-IPU. Na mesma figura à direita, são mostradas as tensões temporais e/ou permanentes em barras de 220kV de varias estações do sistema analisado. Observe-se que são registradas tensões sustentadas por debaixo dos 1,100 p.u. (242kV), inferior aos valores considerados nos limites. Aos 70 segundos é fechado o anel de 500kV entre as barras de VHA e AYO, não observando tensões que violem os limites exigidos. Em consequência, a energização desde o terminal da ES-VHA faz que seja mais viável.

5.2.2 Energização da LT de 500kV AYO-VHA desde o terminal de AYO

As seguintes análises correspondem à energização a través do interruptor ‘S_p’ com fonte da CH-IPU.

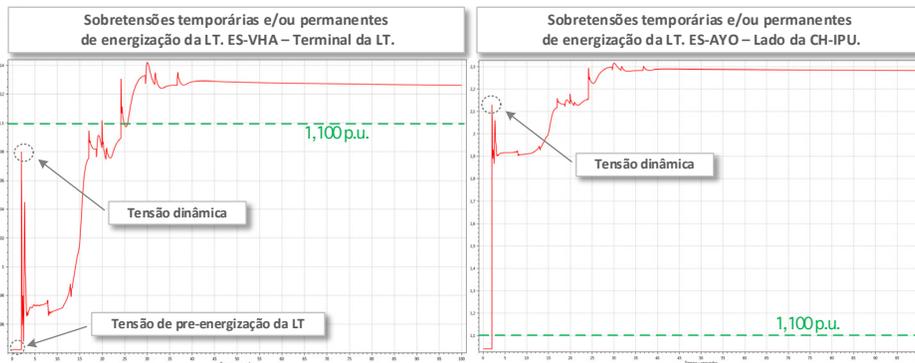


Figura 12. TOV em barras da ES-VHA e ES-AYO.

A “figura 12” mostra que para a condição de energização analisada são observadas tensões por encima dos critérios de operação que foram vistos nos resultados de regime permanente e de ETEmg, em consequência, (desde o ponto de viste deste análise) não é recomendável energizar a LT desde o terminal da ES-AYO (“S_b”). Também, como consequência de estes elevados níveis de tensão, existe altas possibilidades de que as equipes de controle de tensão fiquem fora de serviço piorando a o fenómeno da sobretensão.

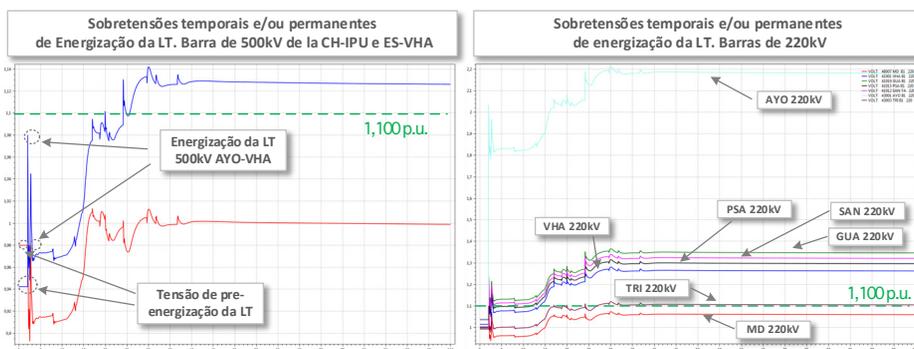


Figura 13. À esquerda TOV nas barras de 500kV da CH-IPU e ES-VHA. À direita TOV em barras de 220kV de varias subestações. Energização da LT desde o terminal de AYO.

A “figura 13”, à esquerda, mostra a Tensão em barras de 500kV da CH-IPU. São observadas tensões na ordem dos 1,020 p.u. (510kV), e não são observadas anomalias no controle de tensão dos geradores da CH-IPU. Na mesma figura à direita, são registradas tensões temporais e/ou nas barras de 220kV. Neste caso aparecem tensões sustentadas não permissíveis acima dos 2,300 p.u. (506kV), donde os controles de tensão se encontram esgotados e apeirando o isolamento dos componentes do sistema elétrico, em consequência, não é recomendável fazer a energização da LT de 500kV desde este terminal.

6 I CONCLUSÕES FINAIS DA ANÁLISE REALIZADOS

6.1 CONCLUSÕES ACERCA DOS RESULTADOS DE ETEmg.

Finalmente, de acordo às resultados obtidos em simulações de análises de transitórios eletromagnéticos da energização da LT 500kV AYO-VHA sem reator, é concluído que quando é abordada a topologia estudada, ***não é recomendável energizar la LT desde o terminal “S_a”***, devido às altas solicitações de tensão provocadas por a ausência de reatores nas extremidades da LT (efeito Ferranti) principalmente por altos valores de tensão de post-energização da LT. Por conseguinte, a ***LT de 500kV solo deve ser energizada e operada desde o interruptor “S_b”***.

Para realizar a energização do terminal de VHA é necessário manobrar previamente bancos de capacitores do sistema para mitigar os impactos produzidos pela energização da LT, principalmente em situações posteriores à energização. Al mesmo tempo, é necessário manter tensões na ordem dos 0,900 p.u (450kV) em barras de 500kV da ES-VHA no momento da energização da LT. Esta medida estaria destinada a mitigar os impactos resultantes da energização da LT.

6.2 CONCLUSÕES ACERCA DOS RESULTADOS DE ETEmc.

Com referência às análises obtidos em simulações de transitórios eletromecânicos da energização da LT 500kV AYO-VHA e posterior fechamento do anel entre a ES-VHA e ES-AYO é concluído que de acordo às condições de operação estudadas, são observadas tensões dinâmicas e de post-energização dentro dos critérios estabelecidos quando a LT é energizada desde o interruptor “S_a” e posterior fechamento desde o interruptor “S_b”. Além disso, é importante ter em conta que os valores de RP em barras de 500kV estão próximas aos 1,100 p.u. (550kV).

Finalmente não é recomendável energizar a LT desde o terminal da ES-AYO devido à altas solicitações de tensão principalmente as do post-energização (resultados já registrados nos ETEmg.), produzidas e intensificadas por a alta injeção de reativos na LT (efeito Ferranti) e com ausência de reatores nas extremidades da LT. Por conseguinte, a LT 500kV AYO-VHA solo pode ser energizada e operadas desde o interruptor “S_a” da ES-VHA quando es alimentada com fonte da CH-IPU.

REFERÊNCIAS

1. GIBSON JONES, P. Evaluation of Voltage Instability Countermeasures in Constrained Subtransmission Power Networkds. Portland State University. 2012, pp. 24.
2. WLLIN, J, H. GIBSON JONES, P. On the Ferranti Effect in Data Grade Cables and Channels. International Wire & Cable Symposium. Proceedings of the 56th IWCS. pp.1. USA. 2007.
3. SHENKMAN, A. Transient Analysis of Electrical Power circuits Hand Book. Holon Academic Institute of Technology, Holon, Israel. 2005, pp. 15.

4. ONS. Operador nacional do sistema elétrico. Diretrizes para a preparação de projetos básicos para empresas de transmissão. RJ, Brasil. 2013
5. SAUER, P; PAI. "Power system dynamics and stability. Department of Electrical and Computer Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 1994.
6. ONS. Operador nacional do sistema elétrico. Sub-módulo 23.3 - Diretrizes e critérios para estudos elétricos. 2007, pp. 51.
7. E.G. GATE, K. HEMMAPLARDH, J.W. MANKE, AND D.P. GELOPULOS. "Time frame notion and time response of the models in transient, mid-term and long-term stability programs". IEEE Trans. Power Appar. Syst., PAS-103, 1, Jan. 1984, 143-150.
8. ONS. Operador nacional do sistema elétrico. Diretrizes para a elaboração de Projetos Básicos para empreendimentos de Transmissão. RJ, Brasil. 2013.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acoplamento magnético ressonante forte 84

Automação de iluminação 150

C

Cálculo de perdas de energia 39

Composto direito/esquerdo (CRLH) 117

Controle da iluminação 150

Correlação-cruzada 15

Custos anuais de construção de linhas de distribuição 39

D

Detecção 94, 154

Durabilidade de rede de Bragg 25

E

Eficiência energética 7, 150, 151, 153, 160

Encapsulamento 25, 27, 29, 30, 31, 32, 35

Energia eólica 161, 162, 168

Enlace analógico a fibra óptica 1, 13

Enlace fotônico sob baixa polarização 1

Estruturas periódicas 117

F

FBG 5, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 35, 36, 37

Fotovoltaico 7, 94, 170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180

Fuzzy Logic 5, 54, 55, 65, 68

I

Índice de refração negativo 117

Inteligência artificial 55

L

Lei de Kelvin 38, 39

LTE 7, 118, 125, 127, 128, 129, 136, 137

M

Metamateriais 6, 84, 117

N

Neuro-Fuzzy 127, 129, 130, 133, 134, 136, 137

O

Otimização estática 39

P

Perda de propagação 127, 128, 136

Permeabilidade negativa 117

Permissividade negativa 117

PID 6, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Planejamento de potência reativa 106

Proteção contra surtos 139, 140

R

Rádio propagação sobre pontes 127

Rede de fibra de Bragg (FBG) 15

Refrigerador 139, 140, 141, 146, 147, 148

Reversão 94

Revisão literária 94

RFBG 5, 25, 26, 27, 28, 31, 32

RF em fotônica 1

Rotação 161, 162, 164, 166, 167, 168, 169

S

Sensor à fibra óptica 15

Sistema DALI 150, 154, 155

Sistemas de alívio 15

Sistemas de distribuição 106, 115, 141

Sistemas de potência 106

Supercondutividade 84

Surtos elétricos 7, 139, 140, 141, 142, 144, 146, 148, 149

T

Televisor 139, 140, 141, 144, 145

Transmissão de energia sem fio 6, 84

V

Vazão 14, 15

Velocidade do vento 161, 163, 164, 165, 166, 167, 168

Vida útil 47, 139, 140, 141, 147, 148, 170

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2

- 
-  www.atenaeditora.com.br
 -  contato@atenaeditora.com.br
 -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 -  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br