

02 - 09 | 2025

RISCOS EM SISTEMAS ISOLADOS DA TERRA OU ATERRADO EM ALTA IMPEDÂNCIA NA CENTRAL HIDROELÉCTRICA-LAÚCA

Risks in isolated earth or high impedance grounding systems at the laúca hydroelectric power plant

Riesgos en sistemas aislados de tierra o puestos a tierra a alta impedancia en la central hidroeléctrica de laúca

Aniceto Augusto Socoge Chissola¹ | Castro Ibala Coge² |
Massonguele João³ | Rosa Mateus Cabitante⁴

¹ Mestrado, Instituto Superior Politécnico de Ndalatando, Angola, Orcid=0009-0002-0210-278, aniceto1688@gmail.com.

² Licenciado, Instituto Superior Politécnico de Ndalatando, Angola, Orcid=000-0004-0730-9032, castroibalaCoge@gmail.com.

³ Licenciado, Instituto Superior Politécnico de Ndalatando, Angola, Orcid= 0009-0002-0935-4043, massonguelejoao@gmail.com.

⁴ Mestrado, Instituto Superior Politécnico de Ndalatando, Angola, Orcid=0009-0006-8898-1879, rosacabitante@gmail.com.

Autor para correspondência: castroibalacoge@gmail.com

Data de recepção: 01-06-2025

Data de aceitação: 15-08-2025

Data da Publicação: 02-09-2025

Como citar este artigo: Chissola, A. A. S.; Coge, C. I.; João, M. & Cabitante, R. M. (2025). *Riscos em sistemas isolados da terra ou aterrado em alta impedância na Central Hidroeléctrica-Laúca*. ALBA – ISFIC Research and Science Journal, 1(8), pp. 376-386. <https://alba.ac.mz/index.php/alba/issue/view/11>.

RESUMO

O estudo teve como objetivo compreender os riscos associados aos sistemas isolados da terra e às falhas de alta impedância, focando no aterramento do neutro do gerador síncrono da central hidroelétrica de Laúca. Utilizando uma metodologia qualiquantitativa, baseada em pesquisa descritiva e explicativa com procedimentos exploratórios e observacionais, foram analisados o comportamento da corrente e da tensão elétrica durante faltas monofásicas, a seletividade dos sistemas isolados da terra e os riscos aos quais os técnicos estão expostos ao medir a tensão

do neutro aterrado em alta impedância diretamente no circuito primário do transformador de aterramento. Os resultados mostraram que os sistemas isolados da terra não são seletivos, dificultando a detecção de falhas monofásicas. A análise do caso da central de Laúca evidenciou os perigos da medição da tensão do neutro com equipamentos inadequados, como multímetros isolados a 1 kV, expondo os técnicos a riscos significativos. Concluiu-se que é crucial adotar práticas seguras e adequadas para a medição da tensão do neutro, garantindo a eficácia das proteções elétricas e a

segurança operacional. O estudo reforça a necessidade de compreender os riscos desses sistemas e implementar soluções técnicas que minimizem falhas, promovendo a segurança e a eficiência em centrais hidroelétricas. A educação e capacitação dos técnicos também são essenciais para reduzir os riscos associados a essas operações.

Palavras-chave: Alta impedância, Aterramento, Gerador síncrono, Neutro aterrado, Sistema isolado.

ABSTRACT

The aim of the study was to understand the risks associated with earth-isolated systems and high-impedance faults, focusing on the grounding of the neutral of the synchronous generator at the Laúca hydroelectric power station. Using a qualitative-quantitative methodology, based on descriptive and explanatory research with exploratory and observational procedures, the behavior of electrical current and voltage during single-phase faults, the selectivity of earth-insulated systems and the risks to which technicians are exposed when measuring the voltage of the grounded high-impedance neutral directly on the primary circuit of the grounding transformer were analyzed. The results showed that earth-insulated systems are not selective, making it difficult to detect single-phase faults. The analysis of the Laúca power station case highlighted the dangers of measuring neutral voltage with unsuitable equipment, such as multimeters isolated at 1 kV, exposing technicians to significant risks. It was concluded that it is crucial to adopt safe and appropriate practices for measuring neutral voltage, guaranteeing the effectiveness of electrical protections and operational safety. The study reinforces the need to understand the risks of these systems and implement technical

solutions that minimize failures, promoting safety and efficiency in hydroelectric plants. The education and training of technicians is also essential to reduce the risks associated with these operations.

Keywords: High impedance, Grounding, Synchronous generator, Grounded neutral, Isolated system.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue conocer los riesgos asociados a los sistemas aislados de tierra y a las faltas de alta impedancia, centrándose en la puesta a tierra del neutro del generador síncrono de la central hidroeléctrica de Laúca. A través de una metodología cualitativa-cuantitativa, basada en investigación descriptiva y explicativa con procedimientos exploratorios y observacionales, se analizó el comportamiento de la corriente y tensión eléctrica durante fallas monofásicas, la selectividad de los sistemas aislados de tierra y los riesgos a los que se exponen los técnicos al medir la tensión del neutro a tierra de alta impedancia directamente en el circuito primario del transformador de puesta a tierra. Los resultados mostraron que los sistemas aislados a tierra no son selectivos, lo que dificulta la detección de fallos monofásicos. El análisis del caso de la central de Laúca puso de manifiesto los peligros de medir la tensión del neutro con equipos inadecuados, como multímetros aislados a 1 kV, exponiendo a los técnicos a riesgos importantes. Se concluyó que es crucial adoptar prácticas seguras y adecuadas para medir la tensión del neutro, garantizando la eficacia de las protecciones eléctricas y la seguridad operacional. El estudio refuerza la necesidad de comprender los riesgos de estos sistemas e implementar soluciones técnicas que minimicen los fallos, promoviendo la seguridad y la eficiencia en las centrales hidroeléctricas. La formación y

capacitación de los técnicos también es esencial para reducir los riesgos asociados a estas operaciones.

Palabras clave: ITS, Infecciones vaginales, Mujeres, Vaginosis bacteriana.

INTRODUÇÃO

Para que um sistema de Energia Elétrica opera corretamente, com uma adequada continuidade de serviço e com desempenho seguro do sistema de proteção. Para garantir os limites de segurança pessoal e da infraestrutura, é fundamental que o quesito de aterramento mereça um cuidado especial (Kindermaan,1995).

A falta de alta impedância são eventos que ocorrem em sistemas elétricos, geralmente em sistemas de produção de energia, causadas pelo contato de umas das fases com uma superfície de baixa de condutividade. As falhas estão frequentemente associadas ao rompimento e queda de condutores energizados, representando um risco para vida humana, animais e propriedades devido a incêndios e choques elétricos. Elas ainda representam um desafio a ser explorado (Pavani,2024).

A característica principal dos circuitos isolados a terra é que o primeiro contato à terra produz apenas um baixo valor de corrente de curto-circuito o que provoca poucos danos ou nenhum dano. No primeiro defeito de curto-circuito fase terra no enrolamento do estator do gerador o valor da corrente elétrica é limitada entre 5 a 25 A pela resistência de aterramento, evita danos no circuito magnético do estator (chapas de aço silício empilhadas) e provoca atuação da proteção terra estator (64S) que desliga o gerador síncrono para permitir a localização do defeito. No segundo defeito de caso curto-circuito para terra em um dos polos do enrolamento do rotor ou pelo excesso de pó de escova do anel coletor produz uma corrente baixa

fluindo para terra e provoca atuação da proteção terra rotor (64R) que pode dar somente alarme para que a manutenção programe uma intervenção para a localização do defeito. No terceiro caso, um contato para terra de um dos polos da corrente contínua em 110 Vcc provocará atuação da proteção positivo à terra ou negativo à terra no sistema de corrente contínua.

Durante uma intervenção de rotina da equipa de manutenção no cubículo de aterramento do neutro do gerador cujo o neutro é aterrado por alta impedância em uma central hidroelétrica, com o gerador síncrono excitado (sem carga, apenas com a tensão nominal nos seus terminais), a tensão nominal do gerador em causa é 18KV caso de exemplo, a equipa de manutenção da central principal do Aproveitamento Hidroelectrico de Laúca esteve a fazer uma medição da tensão diretamente no neutro do gerador (lado primário do transformador de aterramento) no cubículo do aterramento do neutro do gerador, com um multímetro isolado a 1KV (multímetro normalmente usados em instalações elétricas e indústrias), durante a medição em algum ponto de uma das fases do gerador teve contacto com a terra ou seja houve um curto-circuito franco fase-terra, no mesmo instante a tensão do neutro do gerador saio de 0V para 10,392kV, o multímetro usado como era isolado para 1KV explodiu ocasionando um arco-elétrico que fez com que o neutro do gerador ficasse solidamente aterrado, essa situação originou danos severos no ponto aonde originou a falta e no próprio cubículo do aterramento do neutro do gerador isso tudo antes do sistema de proteção atuar.

A presente pesquisa trás uma abordagem sobre o sistema isolado da terra ou aterrado em alta impedância no aproveitamento central hidroelétrica de Laúca, localizado no troço médio do Rio Kwanza na República de Angola, em

Dombo-Ya-Pepe, na Província de Malange, a 282 km de Luanda. Com ele pretendemos compreender os riscos associado ao sistema isolado da terra ou aterrados em alta impedância neste aproveitamento central hidroeléctrica, que nos levará a descrever os tipos de aterramento utilizado em geradores de uma central hidroeléctrica, analisar o aterramento do neutro de um gerador síncrono e compreensão das proteções eléctricas usadas nos geradores síncronos com neutro aterrado por alta impedância e por fim apresentar soluções para se evitar acidentes em caso de uma intervenção no cubículo de aterramento do neutro do gerador síncrono.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa aborda um fenómeno do campo da engenharia eléctrica que apresentam estudos de distribuição de energia eléctrica, mais para realidade de produção de energia eléctrica é uma temática nova e sem muitas referências bibliográficas.

Quanto aos objectivos, o trabalho é baseado na pesquisa descritiva e explicativa. A descritiva ajudou-nos analisar todas as situações ocorridas, os defeitos de isolamento e falha de terra da central principal do Aproveitamento Hidroeléctrico de Laúca.

A explicativa facilitou a compreensão do defeito causado pela equipa de manutenção, aquando da medição de tensão, o multímetro teve um contacto não intencional com a terra. Por esta originou um curto-circuito franco causando danos materiais e pessoais.

Para o procedimento, foi realizada pesquisa exploratória e bibliográfica para se obter uma base teórica sobre o assunto, e analisado um estudo de caso real do aterramento do neutro do gerador da central Hidroeléctrica de Laúca.

A natureza do trabalho é baseada em

método qualitativo e quantitativo, onde os resultados dessa pesquisa serão analisados em base de conceito e cálculo. Como foi abordado, analisou-se um estudo de caso do gerador da central hidroeléctrica de Laúca. O processo de colecta de dados para realização do trabalho, foi realizado no período de julho à novembro de 2023.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo será demonstrado um estudo de caso real, onde veremos os riscos associados ao sistema isolado da terra propriamente o neutro do gerador, levando em conta os dados característicos do gerador síncrono da central hidroeléctrica de Laúca, os dados aqui apresentados foram retirado de documentos restritos da mesma central hidroeléctrica com autorização da direcção.

Estudo de Caso Gerador da Central Hidroeléctrica de Laúca

Como já explicado anteriormente, os geradores cujo neutro é aterrado por alta impedância (transformador de aterramento e resistência), limita a corrente de curto-circuito fase-terra um valor na ordem dos 5 à 25 A. Iremos analisar o valor da corrente de curto-circuito fase terra do gerador da central hidroeléctrica de Laúca.

Cálculo do valor da corrente de curto-circuito fase terra limitada pela resistência de aterramento:

$$I_{CC10terra} = \frac{V_{Pta}}{R_{AT}} = \frac{10,39KV}{515,8\Omega} = 20,14 A$$

$$R_{AT} = 515,8 \Omega, V_{Pta} = 10,39 KV$$

Com esse valor, conseguimos dizer que o aterramento do neutro do gerador de Laúca aterrado por um transformador e resistência no secundário, limita o valor da corrente



Figura 2. Tensões do gerador fonte: autor, (2023)

Gráficos das Tensões do Gerador Síncrono no VisSim

A (figura 3) mostra as ondas de tensões senoidais do gerador.



Figura 3. Gráfico das tensões do gerador

Tensões do Gerador antes do Curto-Circuito

circuito, mostrado nas (figuras 4 e 5) no instante do defeito a tensão no neutro V_n é 0V.

Tensão máxima e eficaz antes do curto-

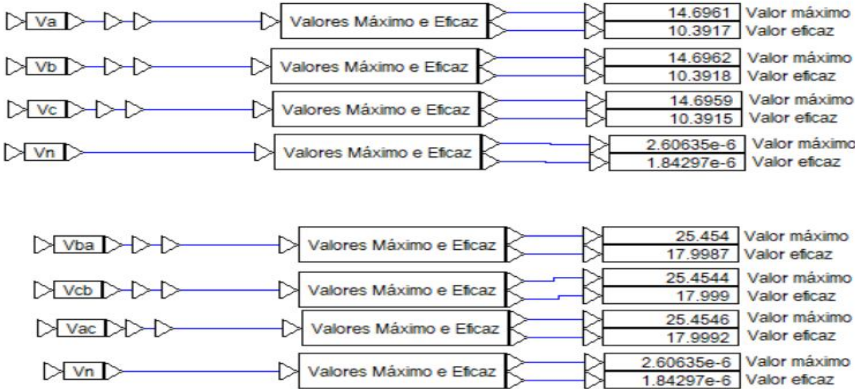


Figura 4-Tensão máxima e eficaz antes do curto-circuito

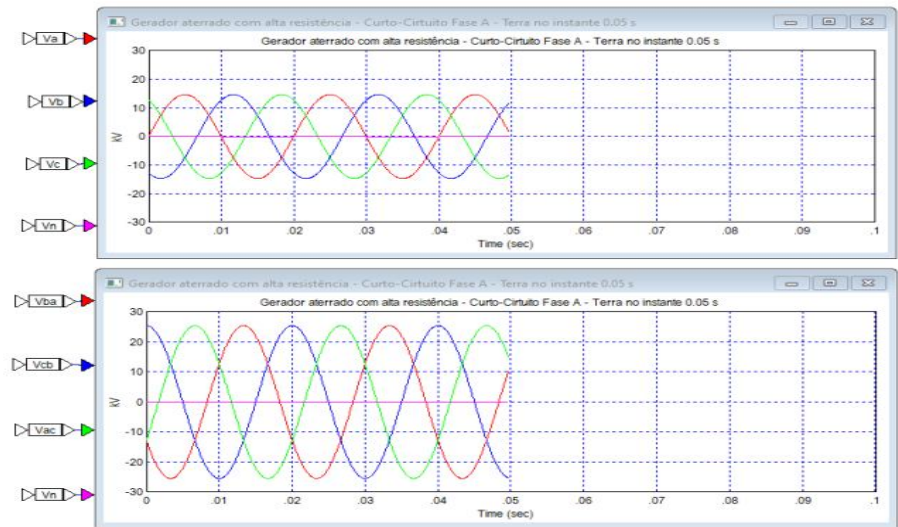


Figura 5. Tensão do gerador no gráfico antes do curto-circuito

Tensão do Gerador após o Curto-Circuito

circuito na fase A, nesse instante é possível observar na (figura 6 e 7) que a tensão no neutro V_n é 10.3917 KV.

Tensão máxima e eficaz depois do curto-

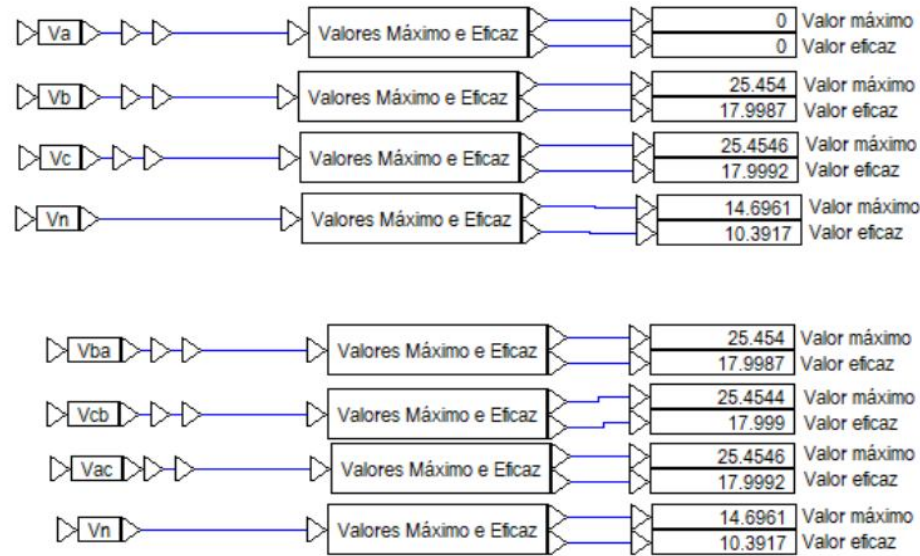


Figura 6. Tensões máxima e eficaz depois do curto-circuito na fase a

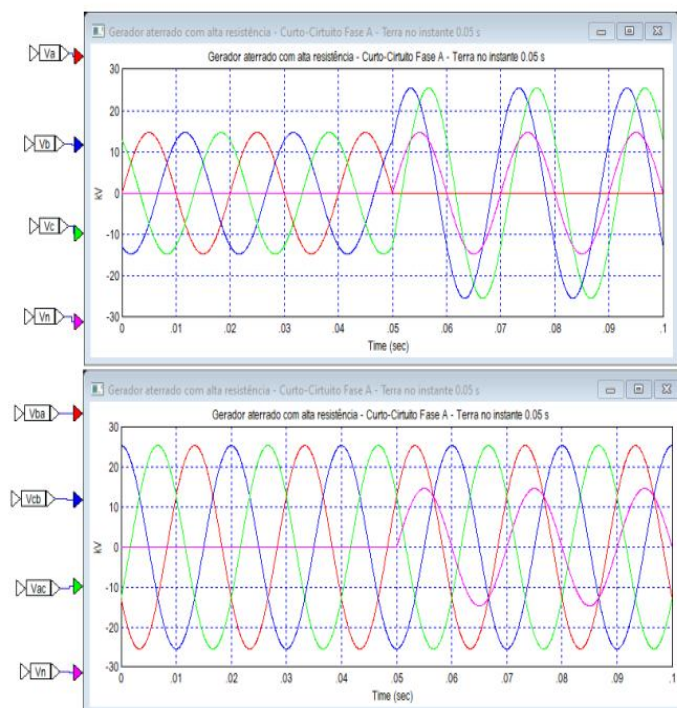


Figura 7. Tensão do gerador no gráfico após o curto-circuito

Medição da Tensão do Neutro

Para se evitar acidentes nos geradores aterrados por alta impedância como já descrito no anteriormente, o neutro é aterrado por um transformador e no secundário desse transformador é colocado uma resistência que reduz o valor da corrente de curto-circuito durante a falta a terra no gerador. Quando o gerador síncrono está em operação normal excitado ou sincronizado no sistema elétrico sem nenhuma falta a tensão no neutro do gerador é 0V (zero volt), quando acontece uma falha de terra no gerador a tensão nos terminais do gerador sai de 0V para $V_L \sqrt{3}$ o que se torna um grande

perigo para um técnico que estiver a fazer um trabalho nesse instante no cubículo do neutro do gerador, e caso também ele estivesse a medir a tensão do neutro nesse instante directamente no neutro do gerador e com um multímetro isolado a 1KV como mostra a (figura 8) abaixo.

Com gerador síncrono sincronizado operando sem nenhum defeito aparece uma certa tensão no neutro do gerador chamado de tensão de terceira harmónico (figura 8) esse valor depende da característica de cada gerador síncrono, a tensão de 3ª harmónica medida em valor primário pelo de relé protecção de uma das unidades geradoras da central hidroelétrica de Laíca.

Operational values, primary - 20-06-23 - LAUCA / UNIT_3 P_0802-19 / PPU_P3_F01_7UM622/7UM622 v04.72.00			
Number	Measured value	Value	
00721	Operat. meas. current L1 side 1 [%] is	8.2 kA	
00722	Operat. meas. current L2 side 1 [%] is	8.4 kA	
00723	Operat. meas. current L3 side 1 [%] is	8.1 kA	
00828	Sensitive Earth Current 1	0 mA	
00724	Operat. meas. current L1 side 2 [%] is	8.2 kA	
00725	Operat. meas. current L2 side 2 [%] is	8.4 kA	
00726	Operat. meas. current L3 side 2 [%] is	8.1 kA	
00829	Sensitive Earth Current 2	0 mA	
00831	3I0 (zero sequence)	0.0 kA	
00605	I1 (positive sequence)	8.2 kA	
00606	I2 (negative sequence)	0.2 kA	
00621	U L1-E	9.99 kV	
00622	U L2-E	9.98 kV	
00623	U L3-E	9.95 kV	
00627	Displacement voltage UE	0.00 kV	
00640	U 3rd Harmonic	0.39 kV	
00832	U0 (zero sequence)	0.00 kV	
00629	U1 (positive sequence)	9.97 kV	
00630	U2 (negative sequence)	0.02 kV	
00624	U L12	17.31 kV	
00625	U L23	17.24 kV	
00626	U L31	17.27 kV	
00641	P (active power)	213.39 MW	
00642	Q (reactive power)	-122.09 MVAR	
00645	S (apparent power)	245.85 MVA	
00902	Power angle	-29.78 °	
00901	Power Factor	0.87	
00644	Frequency	50.00 Hz	
00765	(U/U _n) / (I/I _n)	0.96	
00903	Resistance	1.05 Ohm	
00904	Reactance	-0.61 Ohm	

Figura 8. Tensão de 3ª harmônica medido no neutro do gerador da central hidroelétrica

Forma incorrecta de medir a Tensão do Neutro do Gerador

Quando se mede a tensão do neutro da forma que ilustrada na (figura 9) abaixo, aparecera um valor no multímetro que estiver a ser utilizado para medir a tensão do neutro, chamada de tensão de terceira harmônica, passando uma falsa ideia do verdadeiro valor da tensão do neutro para os técnicos menos experientes que nas condições de equilíbrio e sem nenhuma falta a terra no gerador síncronos a tensão do neutro é de 0V (zero volt), nesse instante que se medir a tensão do neutro na forma como mostra a figura, se ocorrer uma falta a terra no gerador a tensão no neutro do gerador sai de 0V na frequência fundamental para $V_L \sqrt{3}$ e o mesmo neutro fica solidamente aterramento criando danos maiores no núcleo do estator do gerador, no cubículo de aterramento e o multímetro que foi usado para medir que é normalmente isolado a 1KV poderá explodir metendo em risco a vida do técnico que estiver a medir a tensão nesse instante.

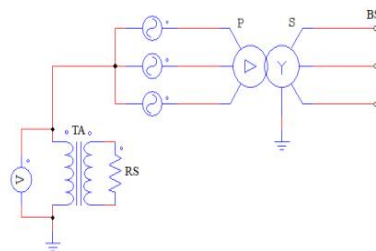


Figura 9. Forma incorrecta de medir a tensão no neutro do gerador

Forma correcta de medir a Tensão do Neutro do Gerador

A forma correcta de medir a tensão do neutro é mostrada na (figura 10) que segue abaixo, para que não haja um acidente e danos maiores no gerador e no cubículo de aterramento do neutro do gerador caso ocorrer uma falta, a tensão do neutro do gerador deve ser medida no secundário do TA (Transformador de Aterramento).

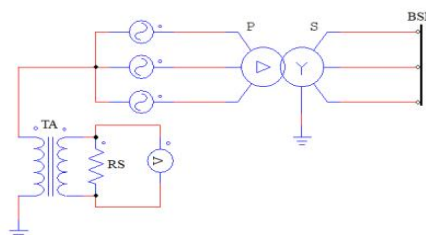


Figura 10. Forma correta de medir a tensão no neutro

CONCLUSÃO

Este trabalho de pesquisa abordou os riscos associados aos sistemas isolados da terra ou aterrados por alta impedância, utilizando como caso de estudo os geradores da central hidroelétrica de Laúca. Foi observado que os sistemas elétricos podem ser isolados, solidamente aterrados ou aterrados por uma impedância, sendo o neutro do gerador síncrono preferencialmente aterrado em alta impedância por meio de um transformador de aterramento e resistência no secundário, o que reduz drasticamente a corrente de curto-circuito fase-terra. Os objetivos do estudo foram alcançados, demonstrando os riscos associados a esses sistemas, como a variação da tensão no neutro de 0V para $V_L/\sqrt{3}$ durante uma falta à terra, e apresentando a forma correta de medir a tensão do neutro para evitar acidentes no cubículo do gerador síncrono.

Para prevenir acidentes durante intervenções em sistemas aterrados por alta impedância, é essencial que a medição da tensão do neutro seja realizada no secundário do transformador de aterramento, uma vez que a tensão no neutro do gerador síncrono varia devido às características desses sistemas. Este trabalho contribui para a segurança dos técnicos que atuam em centrais hidroelétricas e serve como material de consulta para estudantes e profissionais da área de engenharia elétrica, oferecendo orientações sobre como proceder diante de sistemas aterrados por alta impedância. Espera-se que esta pesquisa seja utilizada como base de apoio no setor elétrico angolano e além, promovendo práticas seguras e eficientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, R. (2015). *Dissertação Estudo da Protecção Contra Falta à Terra no Enrolamento do Estator do Gerador Síncrono*. Universidade Federal de Minas Gerais CESEP.

Filho, J. M., Mamede, D. R., (2011). *Protecção de Sistemas Eléctricos de Potência*. Rio de Janeiro: Editora LTC.

Helding, R; Schoenherr, P.E.S. 100% Stator Ground Fault Detection Implementation at Hibbard Renewable Energy Center. Protective Relay Engineers, 2013 66th Annual Conference for, 2013, pp. 529 - 539.

Kindermann, G. (1997). *Curto-Circuito*. Porto Alegre: Editora Sagra Luzzatto

Kindermann, G. (2008). *Protecção de Sistemas Eléctricos de Potência* vol. 3. Florianópolis: Editora LabPlan.

Maezono, P. K., (2006). *Protecção de Geradores*. Campina. Campinas: Editora SEL.

Pillai, P. (2004). Grounding and Ground Fault Protection of Multiple Generator Installations on Medium-Voltage Industrial and Commercial Systems.

Ribeiro, G. M., (2001). *Tutorial de Protecção de Geradores Síncronos*. Belo Horizonte: Editora

Rifaat, R.M. Considerations for Generator Ground-Fault Protection in Midsize

- Cogeneration Plants. IEEE, Transactions on Industry Applications, vol. 33, n. 3, 1997, pp. 628- 634.
- Sato, F. (2005). *Noções Básicas de Proteção de Sistemas de Energia Elétrica*. Campinas.
- Schweitzer, L. (2016). WP1 – *Análise de Oscilografias em Sistemas Elétricos*. Campinas: Editora SEL
- Silva, A.J.F; Alves, C.E; Rigotto Junior, J. *Proteções Elétricas de Geradores Hidráulicos*. Companhia Energética de Minas Gerais, 2011.
- Sultan, A.R; Mustafa, M.W (2013). *Ground Fault Protection Methods of a Generator Stator*. Technology University of Malaysia, Faculty of Electrical Engineering, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, pp. 225-229.
- Taylor., Group. Francis. (1993). *Generator Ground Fault Protection*. Editora: IEEE Std C37.101-1993
- Zielichowski, M; Fulczvk, M (1999). *Influence of Load on Operating Conditions of Third Harmonic Ground-Fault Protection System of Unit Connected Generators*. IEEE Proc. Gener. Tranrm. Distrib., v. 146, n. 3, pp. 241- 248

Chissola, A. A. S.; Coge, C. I.; João, M. & Cabitante, R. M. (2025). *Riscos em sistemas isolados da terra ou aterrado em alta impedância na Central Hidroelétrica-Laúca*