



REVISTA

o setor elétrico

ISSN 1983-0912

Ano 16 - Edição 184 / Janeiro-Fevereiro de 2022

16
ANOS

REDES MAIS INTELIGENTES JÁ PERMITEM DEGUSTAR O FUTURO

Os avanços da transformação digital e impactos no setor de distribuição

NOVOS FASCÍCULO!

- Digitalização do setor elétrico
- Manutenção 4.0
- Segurança cibernética

GUIA SETORIAL

Maior parte de fios e cabos disponíveis é irregular

E MAIS!

Artigo: compatibilidade e resiliência eletromagnética

Espaço Cigre-Brasil: linhas de transmissão subterrâneas AT



O MAIOR EVENTO ITINERANTE DO BRASIL
RETOMA SUAS ATIVIDADES EM 2022

SAVE THE DATE

39ª EDIÇÃO

NORDESTE

SALVADOR (BA) | AGOSTO
08, 09 E 10

40ª EDIÇÃO

CENTRO OESTE

GOIÂNIA (GO) | OUTUBRO
11, 13 E 14

41ª EDIÇÃO

SUDESTE

CAMPINAS (SP) | NOVEMBRO
08, 09 E 10



CINASE

Congresso & Exposição

CIRCUITO NACIONAL DO SETOR ELÉTRICO



WWW.CINASE.COM.BR

O PONTO DE ENCONTRO DA ENGENHARIA ELÉTRICA

INSCRIÇÕES ABERTAS PARA CONGRESSISTAS

Acompanhe também em cada edição o Prêmio O Setor Elétrico de Qualidade das Instalações Elétricas
Edições Bahia (BA), Goiás (GO) e São Paulo (SP)

A INOVAÇÃO ESTÁ AQUI!

SKID SOLAR GIMI

A solução **SKID SOLAR GIMI** foi projetada para prover agilidade, eficiência e segurança às usinas fotovoltaicas. Compostos por módulos de seccionamento de alta tensão até 36kV, módulos de transformador até 2500kVA, módulos de baixa tensão e módulos de inversores, os **SKID'S GIMI** podem ser fabricados em várias configurações, a fim de atender a cada necessidade de sua usina fotovoltaica. Projetados para atender a transformadores entre 500kVA e 2500kVA, podendo ser do tipo a seco ou isolados com óleo vegetal, nas classes de tensão de 17,5kV, 24kV e 36kV. Possuem capacidade de acomodação de até 20 inversores entre 60kW e 250kW para tensões entre 600Vca e 800Vca, buscamos atender a todos os tipos de usinas solares fotovoltaicas, facilitando desde seu transporte até sua instalação em campo.

O módulo de seccionamento podem ser equipadas tanto com chave seccionadora isolada a ar ou com isolamento com gás SF6. Quando o transformador for isolado a óleo, o **SKID** é equipado com uma bacia de contenção para eventuais vazamentos deste óleo. No painel de baixa tensão são previstos espaços para instalação do sistema de monitoramento UPS, CLP, Scada e monitoramento por CFTV. Por se tratar de uma das soluções mais robustas e tecnológicas do mercado, o **SKID SOLAR GIMI** incorpora todas as características necessárias para a proteção da geração de energia solar fotovoltaica.



+55 (11) 4752-9900

+55 (11) 96325-4289



GIMI SOLUÇÕES



GIMISOLUCOESENERGIA



GIMI SOLUÇÕES



GRUPO GIMI



50
ANOS
DESDE
1971

Saiba mais acessando



Grupogimi.com.br





Atitude.editorial
atitude@atituedeeditorial.com.br

Diretores

Adolfo Vaiser
Simone Vaiser

Assistente de circulação, pesquisa e eventos

Henrique Vaiser – henrique@atituedeeditorial.com.br

Administração

Paulo Martins Oliveira Sobrinho
administrativo@atituedeeditorial.com.br

Editora

Flávia Lima – MTB 40.703
flavia@atituedeeditorial.com.br

Publicidade

Diretor comercial
Adolfo Vaiser

Contato publicitário

Ana Maria Rancoleta - anamaria@atituedeeditorial.com.br
Márcio Ferreira - marcio@atituedeeditorial.com.br

Direção de arte e produção

Leonardo Piva - atitude@leonardopiva.com.br

Consultor técnico

José Starosta

Colaboradores técnicos da publicação

Daniel Bento, Jobson Modena, José Starosta, Luciano Rosito,
Nunziante Graziano, Roberval Bulgarelli.

Colaboradores desta edição

Acássio Matheus Roque, Aguinaldo Bizzo,
Arthur Fernando Bonelli, Caio Huais, Carla Damasceno Peixoto,
Carlos Antônio Sartori, Daniel Pansarella, Elbia Gannoum, Felipe
resende Sousa, Geraldo Roberto de Almeida,
Guilherme Chrispim, Jobson Modena, José Starosta, Julio Omori,
Luciano Rosito, Markus Vlasits, Nunziante Graziano,
Paulo Edmundo Freire, Ricardo Torquato, Roberval Bulgarelli,
Rodrigo Leal de Siqueira, Rodrigo Sawaia, Ronaldo Koloszuk,
Saulo Cisneiros, Tiago Ricciardi e Walimir Freitas.

A Revista O Setor Elétrico é uma publicação mensal da Atitude Editorial Ltda., voltada aos mercados de Instalações Elétricas, Energia e Iluminação, com tiragem de 13.000 exemplares. Distribuída entre as empresas de engenharia, projetos e instalação, manutenção, indústrias de diversos segmentos, concessionárias, prefeituras e revendas de material elétrico, é enviada aos executivos e especificadores destes segmentos.

Os artigos assinados são de responsabilidade de seus autores e não necessariamente refletem as opiniões da revista. Não é permitida a reprodução total ou parcial das matérias sem expressa autorização da Editora.

Capa: unsplash.com/photos | Daniel Zacatenco

Impressão - Grafilar

Distribuição - Correios

Atitude Editorial Publicações Técnicas Ltda.

Rua Piracuaema, 280, Sala 41
Cep: 05017-040 – Perdizes – São Paulo (SP)
Fone - (11) 98433-2788
www.osestoreletrico.com.br
atitude@atituedeeditorial.com.br

Filiada à

anatec
www.anatec.org.br



29 Suplemento Renováveis

Novo fascículo sobre armazenamento de energia: oportunidades, promessas e desafios. E mais: conheça a nova gestão da ABGD; expectativas para a fonte solar em 2022; uma avaliação sobre a eólica offshore no Brasil.

4 Editorial

6 Coluna do consultor

O efeito corona.

8 Painel de notícias

Estudo mostra impactos da energia eólica na economia brasileira; Romagnole prevê investimento de R\$ 90 milhões em 2022; Schneider Electric apresenta soluções para transição energética; CGT Eletrosul investe R\$ 2,1 bi em parque eólico; Neoenergia amplia investimentos em renováveis. Estas e outras notícias sobre produtos, empresas e mercado da engenharia elétrica no Brasil.

13 Fascículos

Digitalização do setor elétrico
Manutenção 4.0
Segurança cibernética

40 Capa

Os avanços da inovação e impactos no setor de distribuição.

46 Guia setorial

O que dizem especialistas sobre o mercado brasileiro de fios e cabos elétricos. Confira também um guia de empresas fabricantes e distribuidores de fios, cabos e acessórios.

52 Aula prática

Compatibilidade e resiliência eletromagnética em sistemas elétricos e eletrônicos.

56 Espaço Aterramento

Materiais para aterramento elétrico.

60 Espaço SBQEE

Extração de informações de infraestruturas avançadas de medições em sistemas modernos de energia elétrica.

62 Espaço Cigre-Brasil

Linhas de transmissão subterrâneas de alta tensão.

Colunas

64 Jobson Modena - Proteção contra raios

65 Luciano Rosito - Iluminação pública

66 Nunziante Graziano - Quadros e painéis

68 Aguinaldo Bizzo - Eletricidade com segurança

70 José Starosta - Energia com qualidade

72 Roberval Bulgarelli - Instalações Ex

Compatibilidade e resiliência eletromagnética em sistemas elétricos e eletrônicos

Primeiros eventos e definição de compatibilidade eletromagnética

Embora relatos de interferência eletromagnética (IEM) existam desde os primórdios das comunicações de rádio e telégrafo, as preocupações com IEM ganharam maior importância após o desenvolvimento dos transistores na década de 1950 e dos componentes de alta densidade, tais como os circuitos integrados na década de 1960. Nota-se que estes apresentam níveis de imunidade à IEM menores que os componentes eletromecânicos e válvulas, por exemplo. Devido a esses motivos, verificou-se a necessidade da utilização de medidas de controle para as emissões eletromagnéticas e das características de operações, tais como faixas de frequências de operação etc. [1].

A compatibilidade eletromagnética (CEM) refere-se à capacidade de um equipamento ou sistema de funcionar satisfatoriamente em seu ambiente eletromagnético sem introduzir distúrbios eletromagnéticos que possam comprometer a operação e a segurança de qualquer outro equipamento naquele ambiente. Os mecanismos de controle de IEM têm como base dois aspectos: a emissão e a imunidade

eletromagnética. Emissão refere-se à contribuição de sinais conduzidos e radiados que possam causar interferência de um produto, ou seja, a geração de energia eletromagnética por fontes, de maneira acidental ou deliberada, e sua liberação para o meio. Imunidade é a capacidade de um equipamento de operar satisfatoriamente, sem degradação, na presença dos sinais resultantes das emissões (ruído) [2]. Em outras palavras, atinge-se a compatibilidade eletromagnética quando os níveis de emissão e imunidade são controlados de modo que os níveis de imunidade dos dispositivos, dos equipamentos e sistemas, em qualquer localização, não sejam excedidos. Deste modo, a busca da CEM tem como função primária garantir a segurança e confiabilidade dos sistemas, nos diversos campos de aplicação e nos mais variados ambientes eletromagnéticos.

Base normativa de CEM e sua evolução

Em 1934, a International Electrotechnical Commission (IEC) criou um comitê especial para abordar problemas emergentes de IEM, chamado de International Special Committee on Radio Interference (CISPR), tendo este publicado diversos documentos

com requisitos, técnicas de medição e limites de emissão de sinais conduzidos e radiados que passaram a ser utilizados em diversos países da Europa. De maneira semelhante, a Federal Communications Commission (FCC), a agência independente do Governo dos Estados Unidos, que regula as comunicações nesse país, publicou, em 1979, uma regulamentação geral para todos os dispositivos eletrônicos, seguindo os limites recomendados pela CISPR.

Pode-se citar ainda as instituições militares norte-americanas que adotavam limites de emissão eletromagnética para os sistemas eletrônicos desde a década de 1960, tendo publicado a norma MIL-STD-461, "Military Standard: Electromagnetic Interference Characteristics Requirements For Equipment", de forma a integrar a compatibilidade eletromagnética no estágio de pesquisa e desenvolvimento para tecnologia de comunicações de defesa [3].

Dentro da IEC, destacam-se os comitês: Comitê Técnico 77 (TC77) e a CISPR (Comitê Internacional Especial de Perturbações Radioelétricas), ambos responsáveis por elaboração de normas gerais de CEM; e o Comitê Consultivo em Compatibilidade eletromagnética (ACEC), que garante a coordenação entre os comitês especiais de CEM com outras organizações externas

TABELA 1 – ESTRUTURA DA FAMÍLIA DE NORMAS IEC 61000 [5]

Parte	Tópico	Descrição
1	Geral	Conceitos fundamentais, segurança funcional e incertezas nas medições.
2	Ambiente EM	Descrição, classificação do ambiente eletromagnético (EM) e níveis de compatibilidade.
3	Limites	Limites de emissões e limites de imunidade
4	Método de testes e técnicas de medição	Métodos de testes e de medidas, associados aos fenômenos eletromagnéticos.
5	Guias de Instalação e Mitigação	Guias de instalação; dispositivos e métodos de mitigação.
6	Normas Gerais	Requisitos gerais de emissão e imunidade em vários ambientes EM.
9	Miscelânea	Ainda em definição.

Fonte: Adaptado de [7].

TABELA 2 – ESTRUTURA DA FAMÍLIA DE NORMAS CISPR 16 [6]

Parte	Tópico	Descrição
1	Aparatos e locais de testes	São seis partes que descrevem os aparatos para medição (corrente, tensão e campos), incluindo calibração e verificação destes.
2	Métodos de medição	São cinco partes e especificam métodos de avaliação de fenômenos EM.
3	Relatórios técnicos	Apresenta o relatório técnico IEC contendo diversos relatórios da CISPR (história da CISPR, circuitos para simular interferências etc.).
4	Incetezas e considerações estatísticas	São cinco partes e contém informações sobre avaliações de incertezas nos testes e medições, considerações estatísticas de reclamações e fontes de interferência, modelo para cálculo de limites e condições de uso de métodos de testes alternativos.

Fonte: Adaptado de [7].

Resiliência eletromagnética: segurança funcional aplicada aos fenômenos eletromagnéticos e base normativa

Os sistemas relacionados à segurança devem se manter seguros por todo seu ciclo de vida. Neste contexto, a segurança funcional tem como objetivo garantir que riscos provenientes de falhas aleatórias e sistemáticas em sistemas elétricos e eletrônicos sejam reduzidos a níveis toleráveis e que seus impactos, em caso de ocorrência, sejam minimizados. Como todos os sistemas elétricos, eletrônicos ou eletrônicos programáveis (E/E/PE) estão sujeitos a serem afetados por distúrbios eletromagnéticos, sendo possível, por esse motivo, a ocorrência de erros ou falhas que podem afetar seu bom funcionamento. Faz-se, assim, necessária a adoção de práticas relacionadas ao gerenciamento de riscos funcionais em relação aos fenômenos eletromagnéticos, sendo esta chamada, de forma mais sucinta, de resiliência eletromagnética [8].

Os procedimentos adotados, visando atingir a resiliência eletromagnética, têm como base diversas referências na literatura, podendo-se mencionar, inicialmente, as recomendações das normas IEC 61508 [9] e IEC 61000-1-2 [10].

A norma IEC 61508 é a publicação básica atual relacionada à segurança funcional de equipamentos elétricos, eletrônicos e eletrônicos programáveis (E/E/PE), apresentando as recomendações gerais para obtenção de segurança funcional. Nota-se, no entanto, que esta não apresenta requisitos específicos para o tratamento dos efeitos dos distúrbios

e guia outros comitês de produtos no desenvolvimento de normas específica [4]. As normas de CEM estão divididas em duas grandes famílias: IEC 61000 [5] e CISPR 16 [6], cujas estruturas básicas das duas famílias são apresentadas na Tabela 1 e na Tabela 2, respectivamente.

Além das duas famílias anteriormente

citadas, diversos comitês especiais são responsáveis pela definição dos requisitos específicos e formas de aplicação das normas para aplicações específicas que utilizam sistemas elétricos e eletrônicos. Pode-se observar na Tabela 3 os principais comitês especiais da IEC e suas respectivas normas associadas.

TABELA 3 – COMITÊS ESPECIAIS DA IEC E RESPECTIVAS NORMAS ASSOCIADAS A SISTEMAS DE CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO

Comitê	Norma ou família de normas	Título da norma
TC 9	IEC 62236	<i>Railway applications - Electromagnetic compatibility</i>
TC 18	IEC 60533	<i>Electrical and electronic installations in ships - Electromagnetic compatibility</i>
SC 22E	IEC 61204-3	<i>Low-voltage power supplies, d.c. output - Part 3: Electromagnetic compatibility (EMC)</i>
SC 22G	IEC 61800-3	<i>Adjustable speed electrical power drive systems - Part 3: EMC requirements and specific test methods</i>
	IEC 62493	<i>Assessment of lighting equipment related to human exposure to electromagnetic fields</i>
SC 22H	IEC 62040-2	<i>Uninterruptible power systems (UPS) - Part 2: Electromagnetic compatibility (EMC) requirements</i>
TC 26	IEC 60974-10	<i>Arc welding equipment - Part 10: Electromagnetic compatibility (EMC) requirements</i>
TC 34	IEC 61547	<i>Equipment for general lighting purposes - EMC immunity requirements</i>
TC 44	IEC 60204-31	<i>Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 31: Particular safety and EMC requirements for sewing machines, units and systems</i>
SC 45A	IEC 62003	<i>Nuclear power plants - Instrumentation and control important to safety - Requirements for electromagnetic compatibility testing</i>
TC 46	IEC TR 62153-4-1	<i>Metallic communication cable test methods - Part 4-1: Electromagnetic compatibility (EMC) - Introduction to electromagnetic (EMC) screening measurements</i>
SC 47A	IEC 61967	<i>Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz</i>
	IEC 62132	<i>Integrated circuits - Measurement of electromagnetic immunity, 150 kHz to 1 GHz</i>
SC 62A	IEC 60601-1-2	<i>Medical electrical equipment - Part 1-2: General requirements for basic safety and essential performance - Collateral standard: Electromagnetic compatibility - Requirements and tests</i>
SC 65A	IEC 61326	<i>Electrical equipment for measurement, control, and laboratory use - EMC requirements</i>
SC 65B	IEC 61298-3	<i>Process measurement and control devices - General methods and procedures for evaluating performance - Part 3: Tests for the effects of influence quantities</i>
	IEC 60770-1	<i>Transmitters for use in industrial-process control systems - Part 1: Methods for performance evaluation</i>
TC 79	IEC 62599-2	<i>Alarm systems - Part 2: Electromagnetic compatibility - Immunity requirements for components of fire and security alarm systems</i>
TC 95	IEC 60255-26	<i>Measuring relays and protection equipment - Part 26: Electromagnetic compatibility requirements</i>
TC 96	IEC 62041	<i>Safety of transformers, reactors, power supply units and combinations thereof - EMC requirements</i>
TC 100 TA 5	IEC 60728-2	<i>Cable networks for television signals, sound signals and interactive services - Part 2: Electromagnetic compatibility for equipment</i>
	IEC 60728-12	<i>Cabled distribution systems for television and sound signals - Part 12: Electromagnetic compatibility of systems</i>

Fonte: Autoria própria.

eletromagnéticos. Para esse propósito, a norma IEC 61000-1-2 fornece um guia para a avaliação dos efeitos dos ambientes eletromagnéticos nos sistemas elétricos relacionados à segurança. Ressalta-se que o processo para obtenção segurança funcional considerando os aspectos de CEM envolve todo o ciclo de vida do sistema ou equipamento, desde a concepção do projeto até o seu descomissionamento. Esse ciclo e a relação entre as principais referências normativas são apresentados na Figura 1.

Deve-se, ainda, mencionar a recém-publicada norma IEEE 1848 [11] que

fornece um conjunto de métodos práticos para auxiliar no gerenciamento dos níveis de riscos, devido a distúrbios eletromagnéticos, por todo o ciclo de vida dos equipamentos e sistemas eletrônicos. Essa publicação deverá impactar diversas aplicações específicas de equipamentos elétricos e eletrônicos que deverão abordar as técnicas discutidas na norma citada. As técnicas e medidas apontadas na norma IEEE 1848 englobam a aplicação de técnicas desde o projeto, como aplicação de princípios de segregação, redundância e diversidade e de métodos de correção de erro, passando pelos ciclos de verificação

e validação, e garantindo a segurança funcional durante todo o ciclo de vida do sistema.

Conclusões

Este artigo apresenta uma breve introdução aos tópicos gerais relacionados aos conceitos de compatibilidade e de resiliência eletromagnéticas em sistemas elétricos e eletrônicos. Observa-se que a preocupação com os tópicos de interferência eletromagnética é bastante antiga (final do século XIX e início do século XX), assim como a verificação da

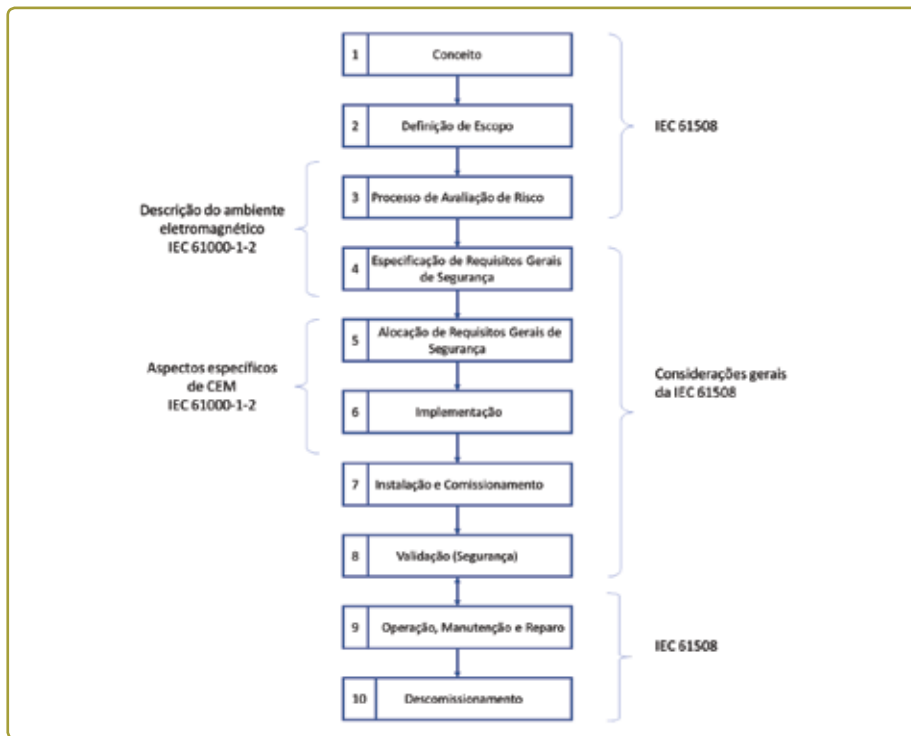


Figura 1 - Ciclo de vida de segurança funcional e aspectos de CEM, relacionando as normas IEC 61508 e IEC 61000-1-2. Fonte: Adaptado de [10].

necessidade de adoção de procedimentos e requisitos descritos em normas internacionais (início na década de 1930). As duas grandes famílias de normas, IEC 61000 e CISPR 16, são as publicações básicas sobre CEM da IEC e especificam as condições gerais ou requisitos necessários para atingir a compatibilidade eletromagnética. Os tópicos gerais sobre resiliência eletromagnética, também, são abordados, ressaltando-se a preocupação dos efeitos resultantes dos fenômenos eletromagnéticos sobre os sistemas elétricos e eletrônicos relacionados à segurança, sendo consideradas as normas IEC 61508, IEC 61000-1-2 e IEEE 1848.

Referências

- [1] C. R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, 2nd ed., Wiley-Interscience, 2006, p. 1016.
- [2] IEC 60050-161, "International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 161: Electromagnetic compatibility", 1.0 ed.,

International Electrotechnical Commission, 1990, p. 73

- [3] MIL-STD-461G, "Military Standard: Electromagnetic Interference Characteristics Requirements For Equipment", US Military Specs/Standards/Handbooks, 2015
- [4] "IEC EMC Players," International Electrotechnical Commission, [Online]. Disponível em: https://pubweb2.iec.ch/emc/iec_emc/iec_emc_players_intro.htm. Acesso em 1-12-2021.
- [5] "IEC 61000, "Electromagnetic compatibility (EMC)", " International Electrotechnical Commission, 2020
- [6] CISPR 16, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods", International Electrotechnical Commission, 2019.
- [7] "Basic EMC publications", [Online]. Disponível em: http://pubweb2.iec.ch/emc/basic_emc/basic_61000.htm. Acesso em 7-12-2021.
- [8] K. Armstrong e A. Duffy, "Reducing the Functional Safety Risks (and other be caused by EMI - new IEEE Standard 1848," IEEE Letters on Electromagnetic Compatibility

Practice and Applications (Early Access), pp. 1-9, 2020.

[9] IEC 61508, "Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Parts 1 to 7", International Electrotechnical Commission, 2010.

[10] IEC 61000-1-2, "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1-2: General - Methodology for the achievement of functional safety of electrical and electronic systems including equipment with regard to electromagnetic phenomena", 1.0 ed., International Electrotechnical Commission, 2016.

[11] Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE Std 1848, "Techniques & Measures to Manage Functional Safety and Other Risks With Regard to Electromagnetic Disturbances", " IEEE, 2020.

Carlos Antônio Sartori é engenheiro eletricista, Mestre e Doutor pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo -EPUSP e estágios de pós-doutorado no Institut National Polytechnique de Grenoble (ENSIEG-INPG/LEG) e na École Centrale de Lyon (ECL-UMR 5005), atuando em ambas como Professor Convitado. Atualmente, é Professor Convitado do Programa de Pós-graduação do Departamento de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo PEA/EPUSP, Engenheiro-Tecnologista Sênior III (Aposentado) e Professor do Programa de Pós-graduação do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/CNEN-SP, e Professor Associado da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Acássio Matheus Roque é engenheiro eletricista pela Universidade de São Paulo com formação complementar em Controle e Automação (Diploma de Estudos Especiais concedido pela Escola de Engenharia de São Carlos - EESC), tendo realizado intercâmbio na Universidade do Porto em Portugal, no curso de Engenharia Eletrotécnica. É mestrando do Programa de Pós-graduação do Departamento de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo PEA/EPUSP. Atualmente, é Especialista em Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear e Defesa (Engenheiro Eletrônico) na empresa Amazônia Azul Tecnologias de Defesa S.A.