



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA



## FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

## COURSE OUTLINE

<b>CÓDIGO / COURSE CODE :</b>		<b>COMPONENTE CURRICULAR / COURSE TITLE :</b> Harmônicos – Análise e Soluções / <i>Harmonics – Analysis and Solutions</i>		
<b>UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE / ORGANIZATION :</b> Faculdade de Engenharia Elétrica - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica <i>Faculty of Electrical Engineering - Postgraduate Program in Electrical Engineering</i>				<b>SIGLA / ACRONYM :</b> FEELT - PPGEELT
<b>CH TOTAL TEÓRICA / LECTURE HOURS :</b> 45 horas / 45 hours	<b>CH TOTAL PRÁTICA / LABORATORY HOURS :</b> 0 horas / 0 hours	<b>CH TOTAL / TOTAL HOURS :</b> 45 horas / 45 hours	<b>CRÉDITOS / CREDITS :</b> 3	<b>TIPO / TYPE:</b> Optativa / Elective
<b>Curso / Degree :</b> Mestrado e Doutorado / <i>Master and PhD</i>		<b>Requisito / Requirement :</b> Sem requisitos / <i>No Requirements</i>		

1. **OBJETIVOS / STUDY GOALS**

1. Modelar os diversos elementos elétricos para estudo de harmônicos em sistemas elétricos.
2. Detectar e avaliar os eventuais problemas elétricos causados por fontes harmônicas em sistemas elétricos.
3. Definir as aplicações e dimensionar os diversos tipos de filtros harmônicos adequados à correção dos problemas de harmônicos de um sistema elétrico.
4. Estabelecer e utilizar ferramentas computacionais adequadas à avaliação de circuitos e problemas envolvendo distorções harmônicas.

1. Model the various electrical elements to study harmonics in electrical systems.
2. Detect and evaluate possible electrical problems caused by harmonic sources in electrical systems.
3. Define the applications and size of the different types of harmonic filters suitable for correcting harmonic problems in an electrical system.
4. Establish and use computational tools suitable for evaluating circuits and problems involving harmonic distortions.

2. **EMENTA / COURSE CONTENTS**

Fundamentação acerca do fenômeno das distorções harmônicas, modelagem matemática, análise de circuitos com a presença de harmônicos, estudos de penetração harmônica, definição de equivalentes elétricos, soluções de mitigação e análise empregando ferramentas computacionais.

Fundamentals of the phenomenon of harmonic distortions, mathematical modeling, analysis of circuits with the presence of harmonics, harmonic penetration studies, definition of electrical equivalents, mitigation solutions, and analysis using computational tools.

3. **PROGRAMA / PROGRAM****1. Modelagem Harmônica dos Componentes Elétricos.**

- 1.1. Comportamento de um sistema elétrico em função da frequência.
- 1.2. Modelos de linhas, transformadores, máquinas síncronas, motores de indução, cargas, capacitores e reatores.

**2. Equivalentes Harmônicos de um Sistema.**

- 2.1. Equivalentes das impedâncias harmônicas.
- 2.2. Métodos de medição.
- 2.3. Exemplo numérico.

**3. Ressonâncias e Estudo de Propagação Harmônica.**

- 3.1. Metodologia de estudo.

3.2. Desenvolvimento matemático do método.

3.3. Estudos interativos de fluxo de carga e propagação harmônica em sistemas elétricos.

#### **4. Filtros Harmônicos.**

4.1. Tipos e modelos de filtros *shunt*.

#### **5. Noções Gerais sobre Projeto de Filtro Harmônico Sintonizado e Amortecido.**

5.1. Procedimentos necessários na elaboração de projeto de filtro.

5.2. A escolha do lugar geométrico representativo do sistema elétrico.

5.3. Obtenção de filtros visando atender ao desempenho ou à compensação reativa.

#### **6. Análise da Inserção de Filtro Harmônico na Rede.**

6.1. Análise por meio de ferramentas computacionais da inserção de filtros harmônicos na rede elétrica, evidenciando eventuais problemas, bem como possíveis otimizações de projeto de instalação.

#### **7. Noções Gerais sobre Filtros Harmônicos Ativos.**

7.1. Apresentação das diferentes tecnologias e estratégias, desafios, limitações e aplicações.

#### **8. Trabalhos Dirigidos.**

##### **1. Harmonic Modeling of Electrical Components.**

1.1. Behavior of an electrical system as a function of frequency.

1.2. Models of lines, transformers, synchronous machines, induction motors, loads, capacitors, and reactors.

##### **2. Harmonic Equivalents of a System.**

2.1. Equivalents of harmonic impedances.

2.2. Measurement methods.

2.3. Numerical example.

##### **3. Resonances and Harmonic Propagation Study.**

3.1. Study methodology.

3.2. Mathematical development of the method.

3.3. Interactive studies of charge flow and harmonic propagation in electrical systems.

##### **4. Harmonic Filters.**

4.1. Types and models of shunt filters.

##### **5. General Understandings About Tuned And Damped Harmonic Filter Design.**

5.1. Necessary procedures in preparing a filter project.

5.2. The choice of the representative geometric locus of the electrical system.

5.3. Obtaining filters to meet performance or reactive compensation.

##### **6. Analysis of The Insertion of Harmonic Filter in The Network.**

6.1. Analysis using computational tools of the insertion of harmonic filters in the electrical network, highlighting possible problems, as well as possible optimizations of the installation project.

##### **7. General Understandings About Active Harmonic Filters.**

7.1. Presentation of different technologies and strategies, challenges, limitations, and applications.

##### **8. Directed Work.**

#### **4. BIBLIOGRAFIA BÁSICA / TEXT BOOK**

1. BRADLEY, D. A. *et al.* **Power System Harmonic.** New York: John Willey & Sons, 1985. 336 p.

2. TAVARES JÚNIOR, J. V. **Estudos Interativos de Fluxo de Carga e de Penetração Harmônica em Sistemas Elétricos com Cargas Não-lineares.** 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, mai. 1997.

3. ALVES, A. C. B. **Análise de Problemas e Procedimentos na Determinação de Filtros Harmônicos.** 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Uberlândia MG, 1991.

1. BRADLEY, D. A. *et al.* **Power System Harmonic.** New York: John Willey & Sons, 1985. 336 p.

2. TAVARES JÚNIOR, J. V. **Estudos Interativos de Fluxo de Carga e de Penetração Harmônica em Sistemas Elétricos com Cargas Não-lineares**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, mai. 1997.

3. ALVES, A. C. B. **Análise de Problemas e Procedimentos na Determinação de Filtros Harmônicos**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Uberlândia MG, 1991.

#### 5. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR / ADDITIONAL READING

1. SHEPHERD, W.; ZAND, P. **Energy Flow And Power Factor In Nonsinusoidal Circuits**. 1. ed. Cambridge, GB: Cambridge University Press, 1979. 284 p. ISBN 978-0521219907.

2. IEEE. **IEEE Std 1531-2020 (Revision of IEEE Std 1531-2003)**: IEEE Guide for the Application and Specification of Harmonic Filters, 2020.

3. MOTTA, L.; FAÚNDES, N. Active / passive harmonic filters: Applications, Challenges & Trends. *In*: 2016 17th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMONICS AND QUALITY OF POWER (ICHQP), 17., 2016, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Estados Unidos: IEEE, 2016.

4. JOHNSON, J. R. Managing harmonics and resonance with active harmonic filters in an offshore ring main oil field. *In*: 2008 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMONICS AND QUALITY OF POWER (ICHQP), 13., 2008, Wollongong. **Anais [...]**. Estados Unidos: IEEE, 2008. p. 1-8. DOI: 10.1109/ICHQP.2008.4668749.

5. SCHWANZ, D. *et al.* Harmonic mitigation in wind power plants: Active filter solutions. *In*: 2016 17th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMONICS AND QUALITY OF POWER (ICHQP), 17., 2016, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Estados Unidos: IEEE, 2016. p. 220-225. DOI: 10.1109/ICHQP.2016.7783321.

6. GIANESINI, B. M.; SANTOS, I. N.; RIBEIRO, P. F. Comparison of Methods for Determining Harmonic Distortion Contributions Using the IEEE Benchmark Test System. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 38, n. 4 - p. 2398-2407, 2023. DOI: 10.1109/TPWRD.2023.3242942.

7. SANTOS, I. N.; OLIVEIRA, J. C.; SANTOS, A. C. Dominant impedance method to assign harmonic voltage contributions at a point of common coupling. **International Transactions on Electrical Energy Systems**, v. 31, n. 6 - p. e12895: 1-16, 2021. DOI: 10.1002/2050-7038.12895.

1. SHEPHERD, W.; ZAND, P. **Energy Flow And Power Factor In Nonsinusoidal Circuits**. 1. ed. Cambridge, GB: Cambridge University Press, 1979. 284 p. ISBN 978-0521219907.

2. IEEE. **IEEE Std 1531-2020 (Revision of IEEE Std 1531-2003)**: IEEE Guide for the Application and Specification of Harmonic Filters, 2020.

3. MOTTA, L.; FAÚNDES, N. Active / passive harmonic filters: Applications, Challenges & Trends. *In*: 2016 17th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMONICS AND QUALITY OF POWER (ICHQP), 17., 2016, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Estados Unidos: IEEE, 2016.

4. JOHNSON, J. R. Managing harmonics and resonance with active harmonic filters in an offshore ring main oil field. *In*: 2008 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMONICS AND QUALITY OF POWER (ICHQP), 13., 2008, Wollongong. **Anais [...]**. Estados Unidos: IEEE, 2008. p. 1-8. DOI: 10.1109/ICHQP.2008.4668749.

5. SCHWANZ, D. *et al.* Harmonic mitigation in wind power plants: Active filter solutions. *In*: 2016 17th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMONICS AND QUALITY OF POWER (ICHQP), 17., 2016, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Estados Unidos: IEEE, 2016. p. 220-225. DOI: 10.1109/ICHQP.2016.7783321.

6. GIANESINI, B. M.; SANTOS, I. N.; RIBEIRO, P. F. Comparison of Methods for Determining Harmonic Distortion Contributions Using the IEEE Benchmark Test System. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 38, n. 4 - p. 2398-2407, 2023. DOI: 10.1109/TPWRD.2023.3242942.

7. SANTOS, I. N.; OLIVEIRA, J. C.; SANTOS, A. C. Dominant impedance method to assign harmonic voltage contributions at a point of common coupling. **International Transactions on Electrical Energy Systems**, v. 31, n. 6 - p. e12895: 1-16, 2021. DOI: 10.1002/2050-7038.12895.

#### 6. APROVAÇÃO / APPROVAL

Ficha de Disciplina homologada na 366ª Reunião Ordinária do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Curricular Component approved at 366th Regular Board Meeting of the Postgraduate Program in Electrical Engineering.

PROF. DR. LUIZ CARLOS GOMES DE FREITAS

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Head of the Postgraduate Program in Electrical Engineering

Portaria de Pessoal UFU Nº 3675, de 30 de Junho de 2023

PROF. DR. SÉRGIO FERREIRA DE PAULA SILVA

Diretor da Faculdade de Engenharia Elétrica

Director of the Faculty of Electrical Engineering

Portaria de Pessoal UFU Nº 1225, de 31 de Março de 2021



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Carlos Gomes de Freitas, Coordenador(a)**, em 02/02/2024, às 13:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5153597** e o código CRC **29C69E37**.