

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

<b>DISCIPLINA:</b> Técnicas de modulação e comando de conversores estáticos de potência.	<b>CÓDIGO:</b>
--	----------------

**Validade:** A partir do 2º semestre de 2019.

**Carga Horária:** 60 horas-aula

**Créditos:** 04

**Área de Concentração / Módulo:** Modelagem e Controle de Sistemas / Formação Específica

### Ementa:

<ol style="list-style-type: none"><li>1. Conversores estáticos de potência topologias e conceitos básicos</li><li>2. Levantamento da Distorção Harmônica Total</li><li>3. Comando de conversores de um braço</li><li>4. Comando de conversores de monofásicos</li><li>5. Comando de conversores de trifásicos e polifásicos</li><li>6. Operação em sobre-modulação</li><li>7. Comando de conversores fonte de corrente CSI/CSC</li><li>8. Comando de conversores multiníveis</li><li>9. Técnicas de comando de baixa frequência de comutação</li><li>10. Alternativas de implementação analógica e digital de moduladores</li></ol>
---

### INTERDISCIPLINARIDADES

<b>Inter-relações desejáveis</b> Os conteúdos abordados na disciplina têm relações diretas com as seguintes disciplinas e linhas de pesquisa:  - <b>Disciplinas</b> ⇒ Eletrônica de Potência aplicada aos Sistemas Elétricos, Modelagem Controle de Conversores Estáticos de Potência, Retificadores de Alto Fator de Potência, Análise de Redes Elétricas, Confiabilidade de Sistemas de Potência e Métodos Numéricos, Teoria e Projeto de Sistemas Lineares, Modelagem e Controle de Sistemas Complexos e Sinais e Sistemas.  - <b>Linhas de Pesquisa</b> ⇒ Análise e Modelagem de Sistemas (Área de Concentração: Modelagem e Controle de Sistemas - MCS); Sistemas de Controle (Área de Concentração: Modelagem e Controle de Sistemas - MCS).
---

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

**Objetivos** - Fornecer ao estudante uma base sólida de conhecimentos sobre:

- As técnicas de comando de conversores estáticos de potência de baixa e alta potência;
- As ferramentas teóricas de análise de moduladores de frequência para aplicação em condições variadas de operação, como inversor ou retificador, em baixa ou alta frequência de comutação, etc.;
- A modelagem matemática dos moduladores convencionais e outras estratégias específicas para aplicações de alta potência e/ou baixa frequência de comutação;
- As aplicações de moduladores de frequências e suas especificidades;
- A Seleção e projeto das estratégias de modulação para uma dada aplicação específica;
- A Simulação de moduladores de frequência em aplicações variadas;
- As alternativas de implementação prática analógica e digital de moduladores de frequência.

### Métodos Didáticos Utilizados

Marque com um X no quadro:

- |   |   |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Aula expositiva em quadro     | <input checked="" type="checkbox"/> Seminário           |
| <input checked="" type="checkbox"/> Aula com uso de transparência | <input checked="" type="checkbox"/> Pesquisa            |
| <input checked="" type="checkbox"/> Aula com uso de multimídia    | <input checked="" type="checkbox"/> Trabalho individual |
| <input checked="" type="checkbox"/> Aula prática                  | <input checked="" type="checkbox"/> Trabalho em grupo   |
| <input type="checkbox"/> Discussão de texto                       | <input type="checkbox"/> Visita técnica                 |
| <input type="checkbox"/> Filme                                    | <input type="checkbox"/> Outros: _____                  |

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

Unidades de ensino		Carga-horária Horas-aula
1	Unidade 1. Introdução conversores estáticos de potência 1.1 Introdução 1.2 Topologias básicas de conversores estáticos 1.3 Conversores e inversores fonte de tensão 1.4 Conversores e inversores fonte de corrente 1.5 Conversores multiníveis.	8
2	Unidade 2. Levantamento da Distorção Harmônica Total 2.1 Introdução 2.2 Fator de Distorção Harmônica 2.3 Densidade espectral de potência harmônica 2.4 Fator de distorção ponderado 2.5 Indicadores de desempenho 2.6 Cálculos das perdas devidos aos harmônicos 2.7 Densidade espectral de potência harmônica normalizada	12
3	Unidade 3. Comando de conversores monofásicos e polifásicos 3.1 Introdução 3.2 Conceitos básicos sobre modulação de largura de pulsos 3.3 Avaliação dos moduladores PWM 3.4 Modulação PWM com amostragem natural 3.5 Modulação PWM com amostragem regular 3.6 Modulação/modulador direto 3.7 Comando de conversores por comparação triangular 3.8 Técnica Vetorial de comando de conversores estáticos 3.9 Operação em sobre-modulação	12
4	Unidade 4. Comando de conversores de fonte de corrente e fonte de tensão 4.1 Introdução 4.2 Comando de conversores fonte de corrente CSI/CSC 4.3 Comando de conversores fonte de tensão VSI/VSC 4.4 Comando de conversores multiníveis	12
5	Unidade 5. Técnicas de comando de baixa frequência de comutação 5.1 Introdução 5.2 Técnica pré-programada para o comando de conversores 5.3 Variação da razão cíclica para o comando de conversores 5.4 Modulação vetorial comando de conversores 5.5 Aplicações e Simulações	12

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

6	Unidade 6. Alternativas de implementação analógica e digital de moduladores 6.1 Introdução 6.2 Implementação analógica 6.3 Implementação digital 6.4 Comando por comparação triangular x Técnica Vetorial 6.5 Processadores digitais de sinais - DSP 6.6 Micro controladores digitais $\mu P$ -	4
<b>Total</b>		60

### Métodos de Avaliação

As avaliações serão feitas por meio de provas e/ou trabalhos individuais e em grupo, apresentação de seminários e apresentações de trabalhos teóricos. Durante o curso serão aplicadas quatro avaliações na forma de Trabalho teórico extra-classe e/ou Trabalho prático extra-classe

### Bibliografia Básica

- [1] D. G. Holmes and T. A. Lipo, Pulse Width Modulation for Power Converters: Principles and Practice Hoboken, NJ: Wiley, 2003
- [2] Ned Mohan, Tore M. Undeland, and William P. Robbins, "Power Electronics: Converters, Applications, and Design", Wiley International Edition. John Wiley & Sons, 3rd edition, 2003
- [3] Holtz, J. "Pulsewidth Modulation-a Survey". IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 39, December 1992.

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

### Bibliografia Complementar

- [1] T. A. Lipo, "Vector Control and Dynamics of AC Drives". New York: Oxford Univ. Press, 1996.
- [2] B. K. Bose, Modern Power Electronics and AC Drives. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2002, pp. 224–236
- [3] José Antenor Pomilio, Apostila de Eletrônica de Potência. <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/elpot.html>, 2000.
- [4] Hava, Ahmet M., Kerkman Russel J. e Lipo Thomas (1999) A Simple Analytical and Graphical Methods for Carrier-Based PWM-VSI Drives. IEEE Transaction on Power Electronics, vol 14
- [5] Bum-Seok Suh; Sinha, G.; Manjrekar, M.D.; Lipo, T.A.; "Multilevel Power Conversion - An Overview Of Topologies and Modulation Strategies" Proceedings of the 6th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipments, 1998. OPTIM '98. Volume 2, May 14-15, 1998 Page(s):AD-11 – AD-24
- [6] V. Blasko, "Analysis of a hybrid PWM based on modified space-vector and triangle-comparison methods," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 33, pp. 756–764, May/June 1997.
- [7] J. A. Houldsworth and D. A. Grant, "The use of harmonic distortion to increase the output voltage of a three-phase PWM inverter," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 20, pp. 1224–1228, Sept./Oct. 1984.
- [8] H. S. Patel and R. G. Hoft, "Generalized techniques of harmonic elimination and voltage control in thyristor inverters: part I—harmonic elimination," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. IA-9, pp. 310–317, May/June 1973.
- [9] H.W. Van der Broeck, H. C. Skudelny, and G. V. Stanke, "Analysis and realization of a pulsewidth modulator based on voltage space vectors," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 24, pp. 142–150, Jan./Feb. 1988. [2] Z. Yu, A. Mohammed, and I. Panahi, "A review of three PWM techniques," in Proc. Amer. Control Conf., 1997, pp. 257–261.
- [10] A-S. A. Luiz And B. J. Cardoso Filho, "A Low Frequency Multilevel Modulation Strategy: Analysis And Design" Records of 7th International Conference on Industrial Applications – Induscon2006 – 10-12 April 2006, Recife – Brazil.
- [11] J. Rodriguez, J. S. Lai, F. Z. Peng. "Multilevel inverters: A survey of topologies, controls, and applications". IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2002, 49(4), pp. 724-738.

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica