EE.UFMG - ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG
DEE - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PLANO DE CURSO DE DISCIPLINA

ELE 056 – PROTEÇÃO DIGITAL DE SISTEMAS ELÉTRICOS

01. DADOS GERAIS

- **Turma**: A (segundas e quartas de 17h às 18h40 – Sala 102 do LRC)
- **Carga Horária:** 60 HORAS-AULA (04 créditos)
- **Professor: CLEVER PEREIRA**
- **Pré-requisitos do Professor:** é altamente recomendável que o aluno matriculado já tenha cursado a disciplina **Circuitos Magnéticos e Polifásicos** e desejável que tenha cursado ou estar cursando as disciplinas **Análise de SEP** e **Transitórios Eletromagnéticos**.
- **Endereço: LRC** – Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento em Descargas Atmosféricas
  Campus da Pampulha, Sala 205, Fone: 3409-5473
  e-mail: cleverpereira@gmail.com.br; clever@ufmg.br

02. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

ITEM	NATUREZA	VALOR (pts)	DATA PROGRAMADA
P1	Prova 1	35	05/10/2016
P2	Prova 2	35	30/11/2016
TC	Trabalho Computacional Prático, Estudo Dirigido e Listas	30	Durante o curso

03. EMENTA

Filosofia da Proteção de SEP. Transformadores de Corrente e de Potencial. Métodos de Detecção de Faltas em SEP. Sistema de Proteção de Distância. Sistema de Proteção por Canal Piloto. Introdução à Proteção Digital. Algoritmos para Proteção Digital. Localização de Faltas em Linhas de Transmissão. Sistema de Proteção Diferencial.

04. PROGRAMAÇÃO DO CURSO

UNIDADE / ATIVIDADE	HORAS	DESCRIÇÃO
1	2	Filosofia da Proteção dos Sistemas Elétricos de Potência
2	6	Transformadores de Corrente
3	2	Transformadores de Potencial
4	6	Métodos de Detecção de Faltas nos SEP
5	12	Proteção de Distância
6	2	Proteção Piloto
7	2	Introdução à Proteção Digital
8	14	Algoritmos para Proteção Digital
9	2	Estudos Avançados sobre Proteção de Distância
10	6	Proteção Diferencial
P1	2	PROVA 1 [Unidades 1 a 6]
P2	2	PROVA 2 [Unidades 7 a 10]
TC	2	Proposição do Trabalho Prático
TC	2	Apresentação/Entrega do Trabalho Prático

05. UNIDADES DE ENSINO

01. FILOSOFIA DA PROTEÇÃO DOS SEP

1.1. Introdução.
1.2. Funções dos Relés de Proteção.
1.3. Zonas de Proteção.
1.4. Proteção Primária e de Retaguarda.

02. TRANSFORMADORES DE CORRENTE

2.1. Introdução.
2.2. Definições e valores de norma.
2.3. Circuito Equivalente e Diagrama Fasorial.
2.4. Erros em Regime Permanente Senoidal.

03. TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

3.1. Introdução.
3.2. Definições e valores de norma.
3.3. Circuito Equivalente e Diagrama Fasorial.
3.4. Erros em Regime Permanente Senoidal.

04. MÉTODOS DE DETECÇÃO DE FALTAS NOS SEP

4.1. Relés de Uma Única Entrada.
4.2. Relés de Duas ou Mais Entradas.
4.3. Detecção de Faltas com Relés de Duas Entradas: Comparadores de Fase e de Amplitude.

05. SISTEMA DE PROTEÇÃO DE DISTÂNCIA

5.1. Características do Sistema Elétrico no Plano Z.
5.2. Seleção das Grandezas de Entrada.
5.3. Unidades de Medição.
5.4. Tipos de Relés de Distância.
5.5. Seleção dos Relés de Distância.

06. SISTEMA DE PROTEÇÃO PILOTO

6.1. Introdução.
6.2. Proteção Piloto Direcional.
6.3. Proteção Piloto Diferencial.

07. INTRODUÇÃO À PROTEÇÃO DIGITAL

7.1. Considerações Iniciais.
7.2. Histórico.
7.3. Hardware dos Relés Digitais

08. ALGORITMOS PARA PROTEÇÃO DIGITAL

8.1. Considerações Iniciais
8.2. Algoritmos Baseados em Formas de Onda (Ajuste à Curva Senoidal, Mínimos Quadrados, Transformada Discreta de Fourier)
8.3. Algoritmos Baseados nos Modelos de LTs (RL Série e Modelo π)

09. ESTUDOS AVANÇADOS SOBRE PROTEÇÃO DE DISTÂNCIA

10.1. Polarização das Unidades de Medição de Distância
10.2. Tipos de Polarização de Unidades de Medição
10.3. Característica de Operação de Unidades de Medição Polarizadas

10. SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL

10.1. Proteção Diferencial Não Percentual
10.2. Proteção Diferencial Percentual
10.3. Aplicação da Proteção Diferencial

06. BIBLIOGRAFIA BÁSICA

(a) TEORIA GERAL DA PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

[01] Warrington, A. R. Van C., "Protective Relays - Their Theory and Practice", vol. I, **Chapman & Hall Ltd**., London, 1962.

[02] Warrington, A. R. Van C., "Protective Relays - Their Theory and Practice", vol. II, **John Wiley & Sons,** New York, 1972.

[03] Mason, C. R.,"The Art and Science of Protective Relaying", **John Wiley & Sons**, New York, 1956 (vide Moodle).

[04] Pereira, C. "Curso de Proteção Digital de Linhas de Transmissão", **Convênio ELETROBRAS/FCO/EE.UFMG,** pp. 01-143, Belo Horizonte, 1998 (vide Moodle).

[05] The General Electric Company Limited of England (GEC), "Protective Relays Application Guide", **Oxley Press**, England, 1976.

[06] Blackburn, J. L., "Protective Relaying", **Marcel Decker Inc**., New York, 1987.

[07] De Mello, F. P., "Proteção de Sistemas Elétricos de Potência", Curso de Engenharia em Sistemas Elétricos de Potência, Série PTI, **Editora da Univ. de Santa Maria**, Rio Grande do Sul, 1979.

[08] Mamede Filho, J., Mamede, D.R. “Proteção de Sistemas Elétricos de Potência”, LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2011.

(b) PROTEÇÃO DIGITAL DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

[01] Johns, A. T & Salman, S. K., *"Digital Protection for Power Systems"*, **IEE Power Series 15**, Peter Peregrinus Ltd., pp. 01-201, 1995.

[02] Sachdev, M. S. (Course Coordinator), "Computer Relaying", **IEEE Tutorial Course**, 79EH0148-7-PWR, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, pp. 01-79, 1979.

[03] Sachdev, M. S. (Course Coordinator), "Microprocessor Relays and Protection Systems", **IEEE Tutorial Course**, 88EH0269-1-PWR, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, pp. 01-95, 1988.

[04] Phadke, A. G. & Thorp, J. S. "Computer Relaying for Power Systems", **Research Studies Press**, Taunton, Somerset, England / John Wiley & Sons Inc., New York Center, pp. 01-289, 1988.

[05] Rockefeller, G. D. "Fault Protection with a Digital Computer", **IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems,** Vol. PAS-88, no 4, pp. 438-461, 04/1969.

[06] Ferrer, H. J. A. "Curso de Proteção Digital de Sistemas de Potência", **Universidade de Monterrey**, México, 1993.

(c) ARTIGOS CLÁSSICOS SOBRE PROTEÇÃO DIGITAL

1. Algoritmos baseados no Modelo da Linha de Transmissão

[01] McInnes A. D. & Morrison, I. F. *"*Real *Time* Calculation *of Resistance and Reactance for Transmission Line Protection by Digital Computer"*, **Elec. Eng. Transactions, Institute of Engineers, Australia**, Vol. EE 27, nº 1, pp. 16-23, 1970.

[02] Smolinsk, W. J. *"An* Algorithm *for Digit*al *Impedance Calculation Using a Single PI Section Transmission Line Model"*, **IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems**, Vol. PAS-92, nº 5, pp. 1546-1551, 09-10/1979.

[03] Ranjbar, A. M. & Cory, B. J. *"An Improved Method for the Digital Protection of High Voltage Transmission Lines"*, **IEEE Trans. on Power** Apparatus **and Systems**, Vol. PAS-94, nº 2, pp. 544-550, 03-04/1975.

2. Algoritmos baseados no Ajuste à Curva Senoidal

[01] Mann, B. J. & Morrison, J. F. *"Digital Calculation* of *Impedance for Transmission Line Protection"*, **IEEE Trans. on Power Apparatus** and **Systems**, Vol. PAS-90, pp. 270-279, 01-02/1971.

[02] Gilchrist, G. B., Rockefeller, G. D. & Udren, E. A. *"High Speed Distance Relaying using a Digital Computer-Parts I* and *II"*, **IEEE Trans. on** Power **Apparatus and Systems**, Vol. PAS-91, nº 3, pp. 1235-1258, 05-06/1972 (PRODAR-70).

[03] Gilbert, J. G. & Shovlin, R. J. *"High*-Speed *Transmission Line Fault Impedance Calculation Using a Dedicated Minicomputer"*, **IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems**, Vol. PAS-94, pp. 872-883, 05-06/1975.

3. Algoritmos baseados no Método dos Erros Mínimos Quadrados

[01] Luckett, R. G., Munday, P. J. & Murray, B. E., *"A Substation*-Based *Computer for Control* and *Protection"*, **IEE Conference Publication**, nº 125, London, pp. 252-260, 03/1975.

[02] Sachdev, M. S. & Baribeau, M. A., *"A New Algorithm for Digital Impedance Relays"*, **IEEE Trans. on Power Apparatus and** Systems, Vol. PAS-98, nº 6, pp. 2232-2240, 11-12/1979.

4. Algoritmos baseados nas Transformadas de Fourier e Walsh

[01] Ramamoorty, M. *"Application of Digital Computer to Power System Protection"*, **Journal of Inst. Eng. (India),** Vol. 52, nº 10, pp. 235-238, 06/1972.

[02] Phadke, A. G. et all *"A Digital Computer System for EHV Substation: Analysis and Field Tests"*, **IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems**, Vol. PAS-95, nº 1, pp. 291-301, 01-02/1976.

[03] Morton, J. W. *"The use* of Walsh Functions for High Speed Digital Relaying", IEEE Publication no 75ch1034-8 PWR, Paper nº A 755227, **IEEE PES Summer Meeting**, San Francisco, pp. 1-9, 07/1975.

[04] Parthankar, Y. G. *"Fast (1-shift) Orthogonal Functions for Extraction of the Fundamental Frequency Component for* Computer Relaying*"*, **Electric Power Systems Research**, Vol. 14, pp. 233-236, 1988.

[05] Eichhorn, K. & Lobos, T. *"Recursive Real Time Calculation of Basic Waveforms of Signals"*, **IEE Proceedings-C**, Vol. 138, nº 6, pp. 469-470, 1991.

5. Outros Artigos Importantes

[01] Sabato, M. V. G et all *"Analises de la Respuesta de Três Algoritmos para la Proteccion Distanciométrica Digital"*, **2º ERLAC-Encontro Latino Americano da Cigré**, pp.. 1137-1145, 06/1987.

[02] Wiszniewski, A. *"How* to *Reduce* Errors of Distance Fault Location Algorithms", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, nº 12, pp. 4815-4820, 11-12/1981.

(d) ARTIGOS DE NOSSA AUTORIA

Vide site do CNPq (Currículo Lattes)

PLANEJAMENTO DE DISCIPLINA

ELE 056 – PROTEÇÃO DIGITAL DE SISTEMAS ELÉTRICOS

CARGA HORÁRIA: 60 HORAS-AULA (AULAS DE 2 HH)

AULA	PREVISTO		REALIZADO	
	DATA	MATÉRIA	DATA	MATÉRIA
01	01/08	Apresentação do Curso UNID. 1 - Filosofia da Proteção		
02	08/08	UNID. 2 – TCs: Definições, Valores de Norma		
03	17/08	UNID. 2 – TCs: Cálculo de Erros		
04	22/08	UNID. 3 – TPs: Transformadores de Potencial		
05	24/08	Discussão da Lista 1 de TCs		
06	29/08	UNID. 4 - Métodos de Detecção de Faltas SEP		
07	31/08	UNID. 4 - Métodos de Detecção de Faltas SEP		
08	05/09	Discussão da Lista 2 de Mét. Deteção de Faltas		
09	12/09	Retas e círculos no plano polar. UNID. 5 - Proteção de Distância: Diagramas RX.		
10	14/09	UNID. 5 – Características no Plano Z.		
11	19/09	UNID. 5 - Seleção Grandezas de Entrada, Unidades de Medição Clássicas.		
12	21/09	UNID. 5 - Prot. Distância: Unidades de Medição. Relés de Distância.		
13	26/09	UNID. 5 - Prot. Distância: Relés de Distância.		
14	28/09	Discussão da Lista 3 de Proteção de Distância Introdução do Programa DIGIPROT		
15	03/10	UNID. 6 - Proteção Piloto.		
16	05/10	***PROVA 1 (Unidades 1 a 6 - 35 pts)***		
17	10/10	UNID. 7 – Introdução à Proteção Digital: Histórico, Vantagens, Hardware.		
18	17/10	UNID. 8 – Algoritmos: Mann&Morrison, Prodar 70.		
19	19/10	UNID. 8 - Algoritmos: Mínimos Quadrados		
20	24/10	Apresentação do programa DIGIPROT (DGP)		
21	26/10	**Proposição do Trabalho Prático**		
22	31/10	UNID. 8 - Algoritmos: Fourier.		
23	07/11	UNID. 8 - Algoritmos: Modelos de LT (RL e Linha Longa)		
24	09/11	UNID. 9 – Estudos Avançados sobre Proteção de Distância: Unidades de Medição Polarizadas.		.
25	16/11	Discussão da Lista 4 de Algoritmos de Proteção Digital.		
26	21/11	UNID. 10 – Proteção Diferencial: Teoria.		
27	23/11	UNID. 10 – Proteção Diferencial: Aplicação.		
28	28/11	Discussão da Lista 5 de Proteção Diferencial.		
29	30/11	***PROVA 2 (Unidades 7 a 10 - 35 pts)***		
30	05/12	*Apresentação/EntregaTrabalhos Práticos*		

CALENDÁRIO

ELE 056 – PROTEÇÃO DIGITAL DE SISTEMAS ELÉTRICOS

AGOSTO

D	S	T	Q	Q	S	S
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

1 - Início do 2º Período Letivo
15 - Feriado Municipal (Assunção N.Senhora)

SETEMBRO

D	S	T	Q	Q	S	S
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

7 - Independência do Brasil

OUTUBRO

D	S	T	Q	Q	S	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

12 - N. Sra. Aparecida
28 - 29 - Dia do Serv Público e Dia do Professor

NOVEMBRO

D	S	T	Q	Q	S	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

2 - Dia de Finados
12-14 - Recesso Escolar
15 - Proclamação da República

DEZEMBRO

D	S	T	Q	Q	S	S
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

8 - Imaculada Conceição
14 - Fim do 2º Período Letivo
25 - Natal

LEGENDA

Início e Fim de Período Letivo
Aulas Programadas
Provas Programadas
Reserva Técnica
Recesso Olimpíada
Recesso/Feriado/Dia Santo
Participação em Congressos
Data limite para divulgação das notas finais (sem Exame Especial)
Data limite para divulgação das notas finais (com Exame Especial)