

PLANO DE ENSINO

1. Dados Gerais

- **Disciplina:** PPGEE3607 – Tópicos em Sistemas de Potência 1.
- **Tema:** Aplicações da Proteção Diferencial Numérica.
- **Carga Horária:** 60 horas (4 créditos).
- **Semestre:** 2025.2.
- **Local e Horário:** Sala de Aula do Espaço Sérgio Barroso – FT AT-31/12, Ter e Qui de 8h às 9h50min.
- **Professor:** Kleber Melo e Silva.

Departamento de Engenharia Elétrica – ENE, Sala B1-78/15.

Fone: (61) 3107-5510, email: klebermelo@unb.br.

2. Objetivo

- Apresentar os conceitos fundamentais da proteção diferencial numérica dos componentes de sistemas elétricos de potência.

3. Metodologia de Ensino

- Aulas teóricas expositivas utilizando recursos didáticos audiovisuais e quadro branco.
- Simulações de transitórios eletromagnéticos em sistemas elétricos de potência com o software ATPDraw.
- Simulações computacionais de algoritmos de proteção numérica microprocessada que vem sendo implementados nos relés em escala comercial.

4. Critérios de Avaliação

- Os alunos serão avaliados mediante as atividades descritas na tabela a seguir.

Atividade	Descrição	Assunto	Data Programada
RS1	Relatório de Simulação 1	Algoritmos de Estimação de Fasores	16/09/2025
RS2	Relatório de Simulação 2	Proteção Diferencial de Transformadores de Potência	14/10/2025
RS3	Relatório de Simulação 3	Proteção Diferencial de Barramentos	13/11/2025
RS4	Relatório de Simulação 4	Proteção Diferencial de Linhas de Transmissão	12/12/2025

- A média final (MF) na disciplina será:

$$MF = \frac{RS1 + RS2 + RS3 + RS4}{4}$$

- Para ser aprovado na disciplina, o aluno deve ter MF maior ou igual a 5,0 pontos e presença igual ou superior a 75% de presença nas aulas teóricas.

5. Ementa

- Filosofia da proteção de sistemas elétricos de potência; Introdução à proteção numérica microprocessada de sistemas elétricos de potência; Transformador de corrente para serviços de proteção; Fundamentos da proteção diferencial numérica; Proteção diferencial numérica aplicada a transformadores de potência, barramentos e linhas de transmissão.

6. Conteúdo Programático

6.1. Filosofia da proteção de sistemas elétricos de potência

- a. Tipos de relés: eletromecânicos, estáticos analógicos e numéricos microprocessados.
- b. Funções e zonas de proteção.

6.2. Introdução à proteção numérica microprocessada de sistemas elétricos de potência

- a. Amostragem de sinais analógicos.
- b. Algoritmos de estimação de fasores.

6.3. Transformador de corrente para serviços de proteção

- a. Circuito equivalente e diagramas fasoriais.
- b. Erros de medição e o impacto no funcionamento da proteção.
- c. Dimensionamento para serviços de proteção.

6.4. Fundamentos da proteção diferencial numérica

- a. Tipos de relé.
- b. Planos de representação.

6.5. Proteção diferencial numérica de transformadores de potência

- a. Compensação de defasagem, relação de transformação e componente de sequência zero.
- b. Bloqueio e restrição por harmônicas e pela componente DC de decaimento exponencial.
- c. Unidades de fase e de sequência.

6.6. Proteção diferencial numérica de barramentos

- a. Fundamentos da proteção diferencial de alta e de baixa impedância.
- b. Lógica funcional da proteção de barramentos com topologia variável.
- c. Lógica da proteção de falha de disjuntor.

6.7. Proteção diferencial de linhas de transmissão

- a. Unidades de fase e de sequência.
- b. Eliminação do efeito da corrente capacitiva.
- c. Aspectos de comunicação e sincronização de dados.

7. Bibliografia

7.1. Livros

- a. ZIEGLER, G., *Numerical Differential Protection: Principles and Applications*. Berlin, Germany: Siemens, 2nd ed., 2012.
- b. PHADKE, A. G.; THORP, J. S., *Computer Relaying for Power Systems*. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2nd ed., 2009.
- c. REBIZANT, W.; SZAFRAN, J.; WISZNIEWSKI, A., *Digital Signal Processing in Power System Protection and Control*. London, UK: Springer, 1st ed., 2011.
- d. SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, *Modern Solutions for Protection, Control and Monitoring of Electric Power Systems*. Pullman, US, 2010.
- e. ELMORE, W. A., *Protective Relaying: Theory and Applications*. New York, US: Marcel Dekker Inc., 2nd Ed., 2003.

7.2. Normas e Artigos Técnicos

- a. *Proteção Diferencial de Transformadores:*
 - i. IEEE PES POWER SYSTEM RELAYING COMMITTEE, *C37.91 – IEEE Guide for Protecting Power Transformers*. New York, US: 2008.
 - ii. GUZMÁN, A.; ZOCHOLL, S.; BENMOUYAL, G.; ALTUVE, H. J., *Performance Analysis of Traditional and Improved Transformer Differential Protective Relays*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2000.

- iii. GUZMÁN, A.; ALTUVE, H. J.; TZIOUVARAS, D., *Power Transformer Protection Improvements with Numerical Relays*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2005.
- iv. GUZMÁN, A.; FISCHER, N.; LABUSCHAGNE, C., *Improvements in Transformer Protection and Control*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2009.
- v. EDWARDS, B.; WILLIAMS, D. G.; HARGRAVE, A.; WATKINS, M.; YEDIDI, V. K., *Beyond the Nameplate – Selecting Transformer Compensation Settings for Secure Differential Protection*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2016.

b. *Proteção Diferencial de Barramentos:*

- i. IEEE PES POWER SYSTEM RELAYING COMMITTEE, *C37.234 – IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power Systems Buses*. New York, US: 2009.
- ii. GUZMÁN, A.; LABUSCHAGNE, C.; QIN, B.-L., *Reliable Busbar and Breaker Failure Protection with Advanced Zone Selection*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2004.
- iii. ZOCHOLL, S. E.; COSTELLO, D., *Application Guidelines for Microprocessor-Based, High-Impedance Bus Differential Relays*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2009.
- iv. BEHRENDT, K.; COSTELLO, D.; ZOCHOLL, S. E., *Considerations for Using High-Impedance or Low-Impedance Relays for Bus Differential Protection*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2010.

c. *Proteção Diferencial de Linhas de Transmissão:*

- i. TZIOUVARAS, D. A.; ALTUVE, H.; BENMOUYAL, G.; ROBERTS, J., *Line Differential Protection with an Enhanced Characteristic*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2004.
- ii. BENMOUYAL, G.; MOONEY, J. B., *Advanced Sequence Elements for Line Current Differential Protection*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2006.
- iii. MILLER, H.; BURGER, J.; FISCHER, N.; KASZTENNY, B., *Modern Line Current Differential Protection Solutions*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2010.
- iv. BENMOUYAL, G., *The Trajectories of Line Current Differential Faults in the Alpha Plane*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2011.
- v. XUE, Y.; FINNEY, D.; LE, B., *Charging Current in Long Lines and High-Voltage Cables – Protection Application Considerations*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2012.

8. Calendário

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						

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				

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	

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						

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			

- Dias normais de aula
- Feriados

9. Planejamento de Aula

Data	Dia	Aula	Conteúdo
19/ago	terça-feira	1	Filosofia da proteção de sistemas elétricos de potência
21/ago	quinta-feira	2	Introdução à proteção numérica microprocessada de sistemas elétricos de potência
26/ago	terça-feira	3	Introdução à proteção numérica microprocessada de sistemas elétricos de potência
28/ago	quinta-feira	4	Introdução à proteção numérica microprocessada de sistemas elétricos de potência
02/set	terça-feira	5	Transformador de corrente para serviços de proteção
04/set	quinta-feira	6	Transformador de corrente para serviços de proteção
09/set	terça-feira	7	Fundamentos da proteção diferencial numérica
11/set	quinta-feira	8	Fundamentos da proteção diferencial numérica
16/set	terça-feira	9	Proteção diferencial numérica de transformadores de potência
18/set	quinta-feira	10	Proteção diferencial numérica de transformadores de potência
23/set	terça-feira	11	Proteção diferencial numérica de transformadores de potência
25/set	quinta-feira	12	Proteção diferencial numérica de transformadores de potência
30/set	terça-feira	13	Proteção diferencial numérica de transformadores de potência
02/out	quinta-feira	14	Proteção diferencial numérica de transformadores de potência
07/out	terça-feira	15	Proteção diferencial numérica de transformadores de potência
09/out	quinta-feira	16	Proteção diferencial numérica de transformadores de potência
14/out	terça-feira	17	Proteção diferencial numérica de barramentos
16/out	quinta-feira	18	Proteção diferencial numérica de barramentos
21/out	terça-feira	19	Proteção diferencial numérica de barramentos
23/out	quinta-feira	20	Proteção diferencial numérica de barramentos
28/out	terça-feira	21	Proteção diferencial numérica de barramentos
30/out	quinta-feira	22	Proteção diferencial numérica de barramentos
11/nov	terça-feira	23	Proteção diferencial numérica de barramentos
13/nov	quinta-feira	24	Proteção diferencial numérica de linhas de transmissão
18/nov	terça-feira	25	Proteção diferencial numérica de linhas de transmissão
25/nov	terça-feira	26	Proteção diferencial numérica de linhas de transmissão
27/nov	quinta-feira	27	Proteção diferencial numérica de linhas de transmissão
02/dez	terça-feira	28	Proteção diferencial numérica de linhas de transmissão
04/dez	quinta-feira	29	Proteção diferencial numérica de linhas de transmissão
09/dez	terça-feira	30	Proteção diferencial numérica de linhas de transmissão