

Proteção digital de transformadores, máquinas rotativas e barramentos

Docente: Prof. Titular Denis Vinicius Coury

Colaborador: Thiago Souza Menezes

Tópicos

4 – A proteção digital de transformadores, máquinas rotativas e barramentos

- Proteção digital de transformadores
- Proteção digital de barramentos
- Proteção digital de geradores/motores

Proteção de transformadores

- ✓ Proteção diferencial

- ✓ Possíveis complicações:
 - ✓ Corrente de magnetização: bloqueio pela **segunda harmônica**;

 - ✓ Saturação dos TCs;

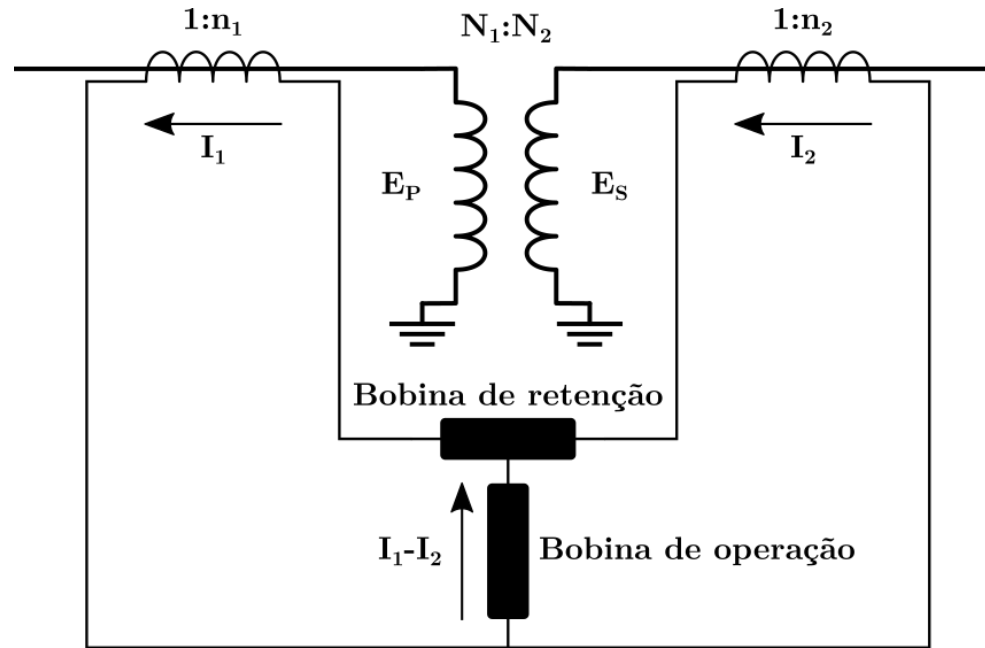
 - ✓ Remoção de faltas próximas ao transformador;

 - ✓ Sobre-excitação: bloqueio pelo **terceiro e quinto harmônico**.

 - ✓ Ajuste incorreto dos TCs

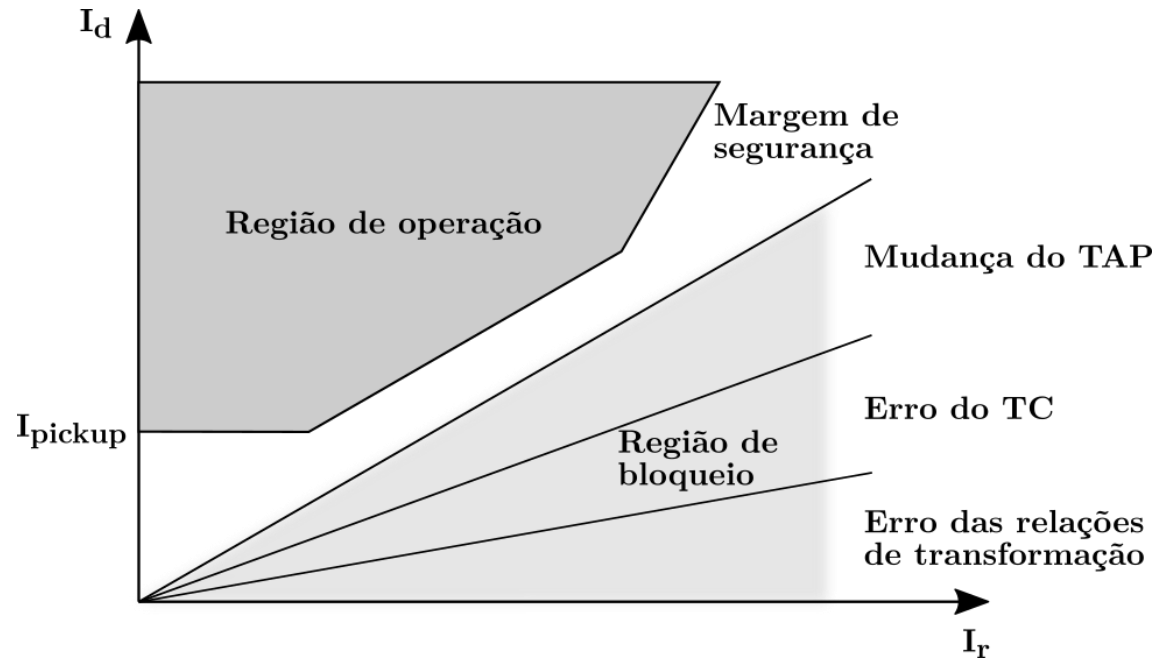
 - ✓ Mudanças nos TAPs do transformador

Proteção de transformadores



- ✓ Para uma **falta externa** (ou corrente de carga): fortalece a **retenção**
- ✓ Para uma **falta interna**: fortalece a **operação**

Proteção de transformadores



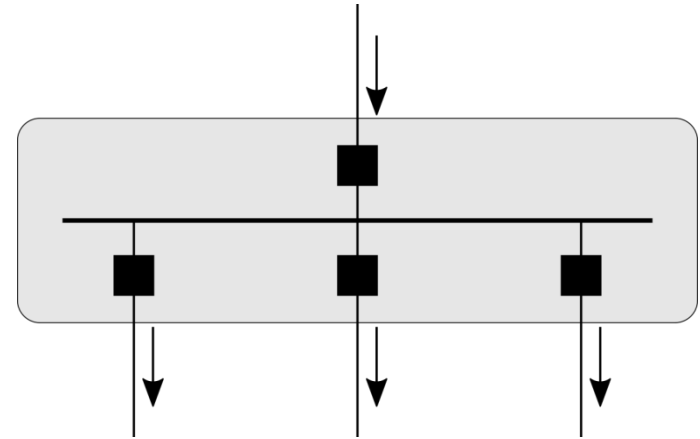
✓ Para a atuação, temos que:

$$I_d > I_{pickup}$$

$$I_d > K \cdot I_r$$

Proteção de barramento

- ✓ Por ser fisicamente compacto, o relé diferencial é usado para sua proteção.
- ✓ Quando não há falta no barramento: soma algébrica de todas as correntes deve ser zero (considerando TCs idênticos).
- ✓ Possíveis erros:
 - ✓ TCs diferentes
 - ✓ Saturação dos TCs

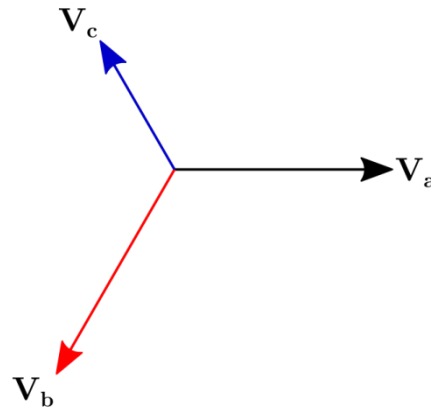


Proteção de geradores

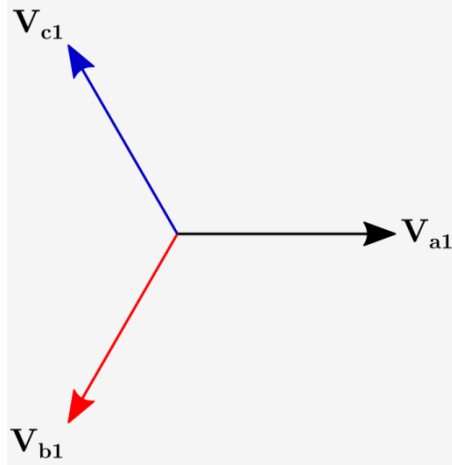
- ✓ A proteção de geradores leva em consideração grandezas elétricas e mecânicas.
- ✓ Proteção diferencial: não há problemas com a **corrente de magnetização**.
- ✓ Proteção térmica: relacionada à **corrente de sequência negativa nos enrolamentos do estator** (correntes desbalanceadas do estator).
- ✓ Proteção de perda de campo: motorização do gerador.
- ✓ Proteção de frequência: previne danos ao gerador.
- ✓ Proteção de tensão: principalmente para geradores baseados em inversores de frequência.
- ✓ Proteção de sobrecorrente.

Proteção desequilíbrio de corrente – ANSI 46

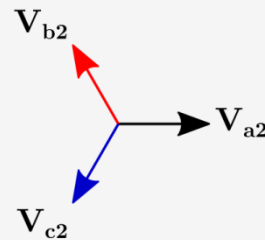
Sistema desequilibrado



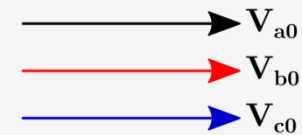
Componentes simétricas



Sequência positiva



Sequência negativa



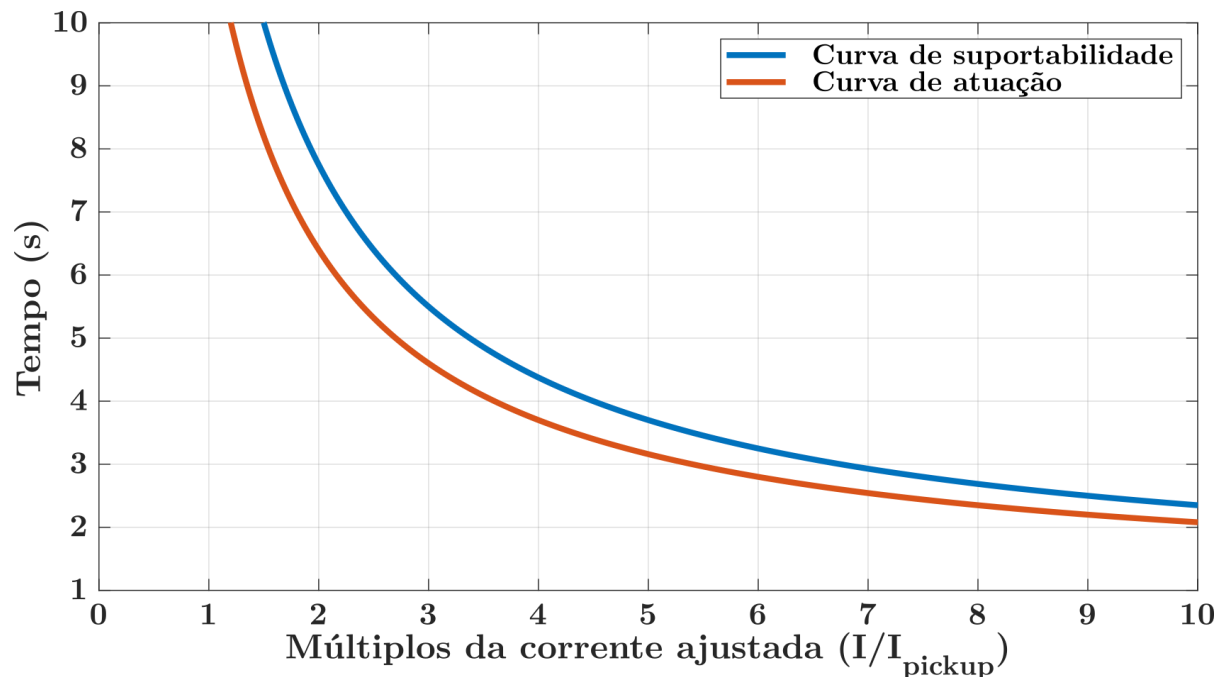
Sequência zero

Proteção desequilíbrio de corrente – ANSI 46

- ✓ Protege o gerador contra sobreaquecimento dos seus enrolamentos principalmente devido à componentes de sequência negativa.

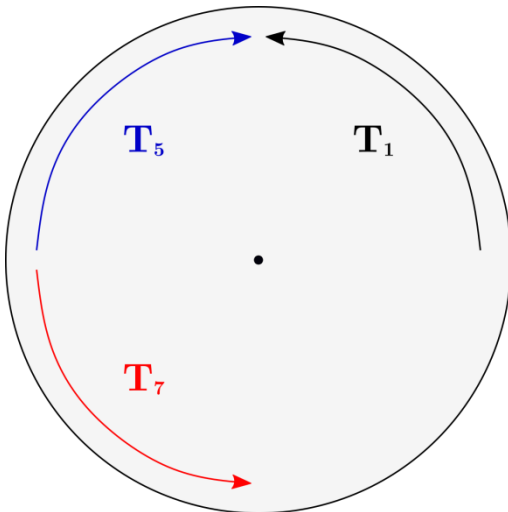
$$I_2 > I_{2,máx} \cdot K$$

- ✓ Deslocamento da curva de suportabilidade
 - ✓ Valor típico de 20%, $K = 0,80$



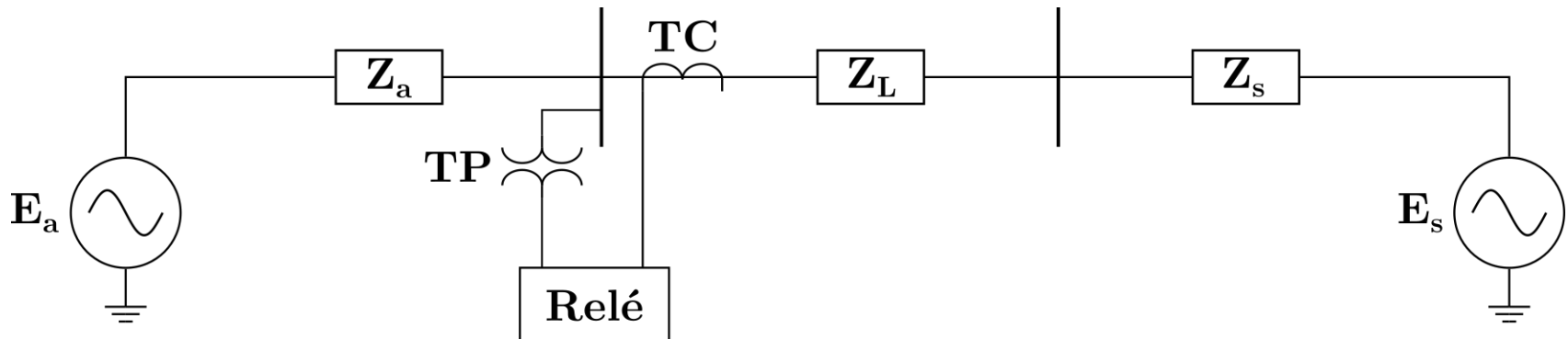
Proteção desequilíbrio de corrente – ANSI 46

- ✓ Pode gerar vibrações na máquina, podendo levar à falha física caso a frequência atinja a frequência natural do conjunto rotor-turbina.



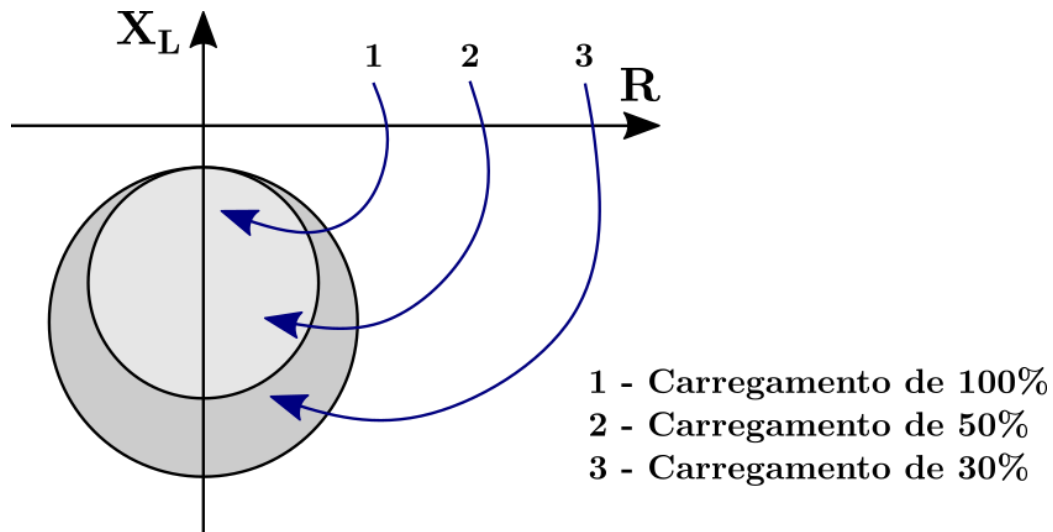
Proteção de perda de campo – ANSI 40

- ✓ A máquina pode perder excitação por:
 - ✓ Abertura accidental do disjuntor de campo;
 - ✓ Curto-circuito no circuito de campo;
 - ✓ Falha no regulador de tensão;
 - ✓ Mau contato nas escovas da excitatriz;
 - ✓ Falha na fonte de alimentação do sistema de excitação.
- ✓ Baseada na impedância aparente vista no estator.



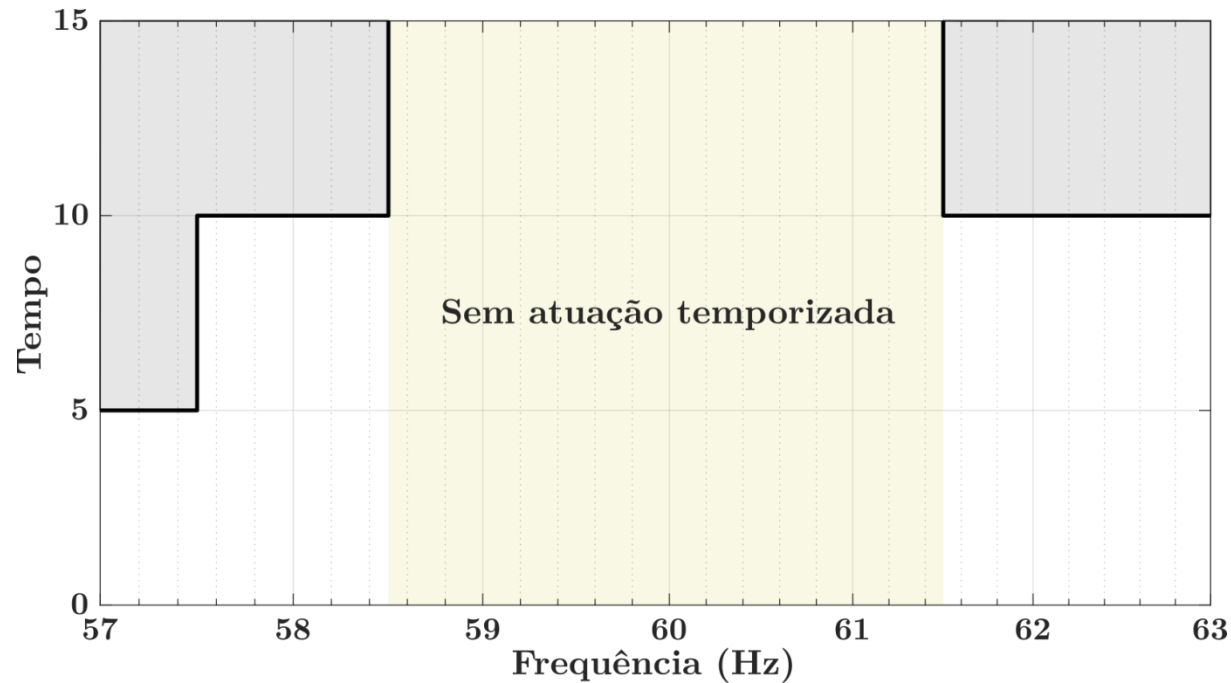
-

Proteção de perda de campo – ANSI 40



Proteção de sub/sobrefrequência – ANSI 81U/O

- ✓ Protege o gerador contra danos mecânicos devido à sub/sobre frequência.



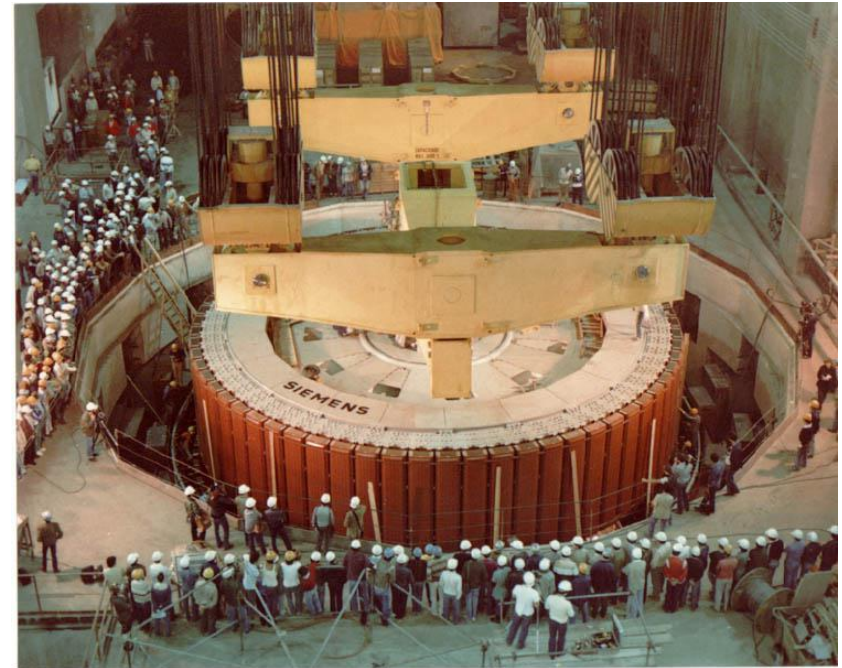
Entre 57 e 63 Hz	Sem atuação instantânea
Abaixo de 57,5 Hz	5 s
Abaixo de 58,5	10 s
Entre 58,5 e 61,5	Sem atuação temporizada
Acima de 61,5	10 s

- ✓ Limites definidos pelos Procedimentos de Rede do ONS para unidades geradoras hidroelétricas e termoeletricas.

Proteção de sub/sobrefrequência – ANSI 81U/O

✓ Dados dos geradores de Itaipu

Diâmetro	16 m
Altura	3,5 m
Peso rotor	1.760 t
Número de pólos	78
Potência nominal	737 MVA
Tensão nominal	18 kV
Corrente nominal	23.569 A
Velocidade nominal	92,3 rpm (60 Hz)
Velocidade de disparo	170 rpm (110,5 Hz)



Proteção de sub/sobrefrequência – ANSI 81U/O

✓ Dados do gerador de Angra 1

Número de pólos	4
Potência nominal	760 MVA
Tensão nominal	19 kV
Velocidade nominal	1800 rpm



Proteção de sub/sobre tensão – ANSI 27/59

- ✓ Protege as máquinas rotativas contra afundamentos e elevações de tensão.
 - ✓ Rejeição/ entrada de cargas
 - ✓ Perda da excitação (Retaguarda da ANSI 40)

- ✓ No caso de motores e geradores com interface com inversores de potência o afundamento pode resultar em correntes elevadas (comportamento de potência constante).

Proteção de sobrecorrente

✓ Protege as máquinas rotativas contra elevadas correntes devido à ocorrência de faltas.

- ✓ Geradores: Faltas externas
- ✓ Motores: Faltas internas

✓ Proteção instantânea: ANSI 50, 50N, 50G, 50V

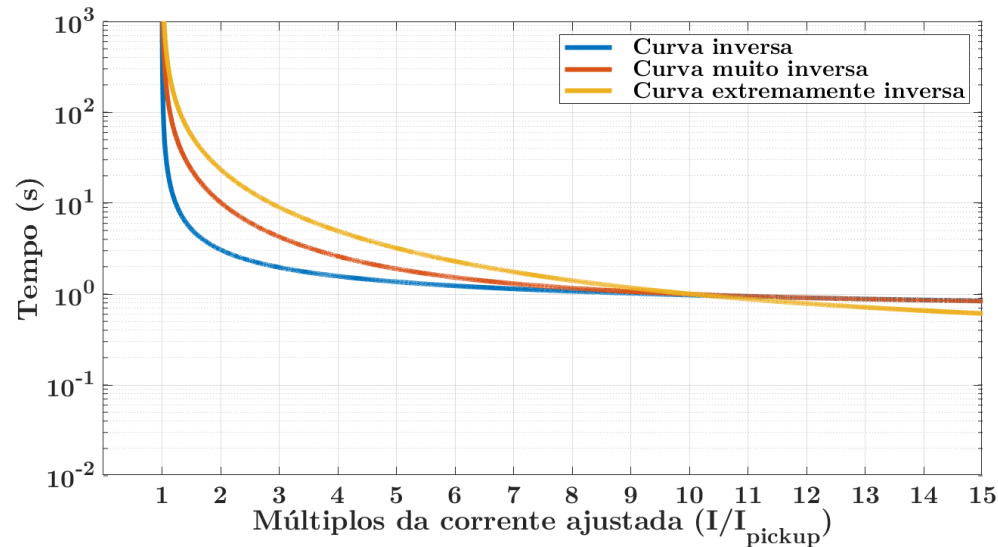
✓ Proteção temporizada: ANSI 51, 51N, 51G, 51V

$$t(I) = \left[\frac{A}{\left(\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^p - 1 \right)} + B \right] \cdot \frac{T}{\beta}$$

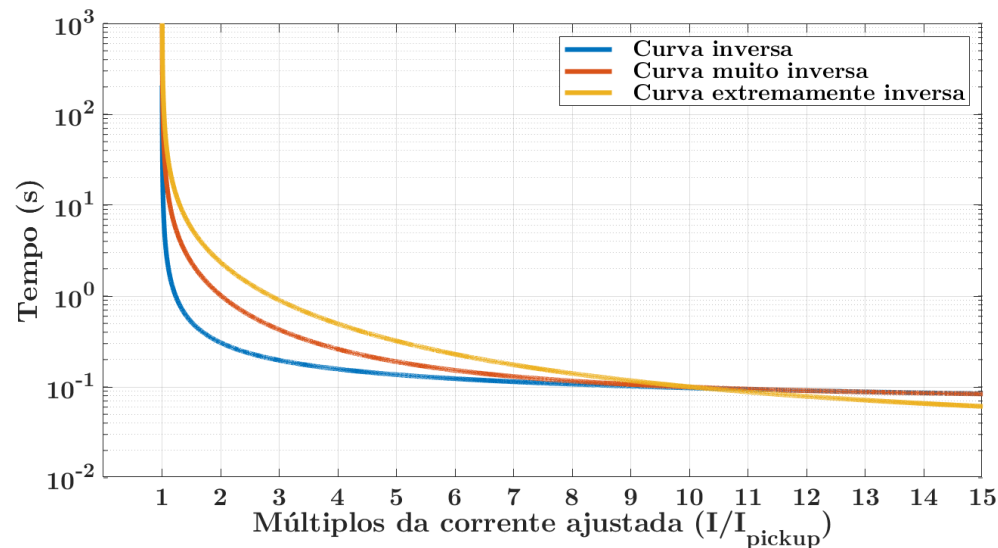
✓ T é o “time dial”, responsável pelo ajuste da curva. Corresponde ao tempo de atuação para $I/I_{pickup} = 10$.

Tipo de curva IEEE	Valores dos coeficientes			
	A	B	p	β
Tempo inverso	0,010	0,023	0,02	0,241
Tempo muito inverso	3,922	0,098	2	0,138
Tempo extremamente inverso	5,64	0,0243	2	0,081

Proteção de sub/sobrecorrente

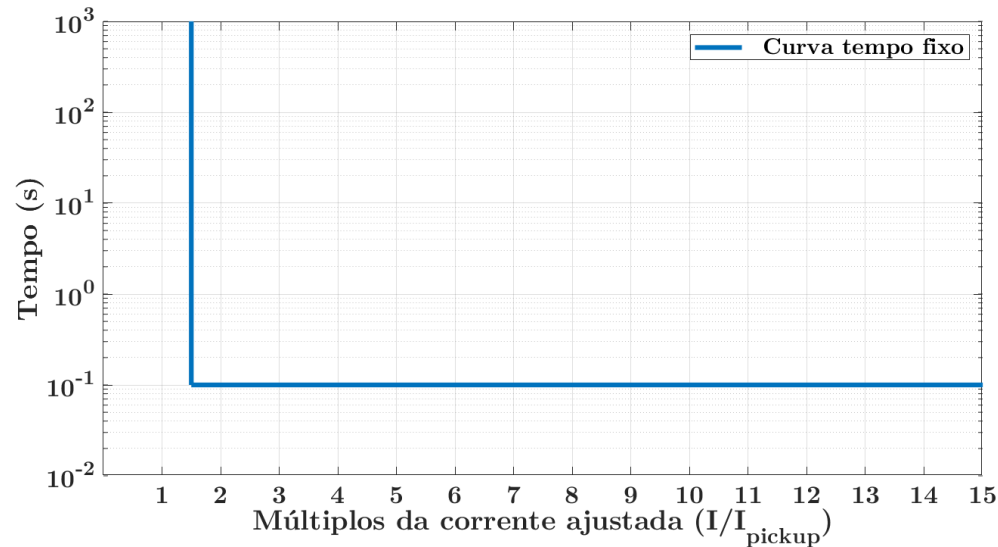


✓ $T=1$

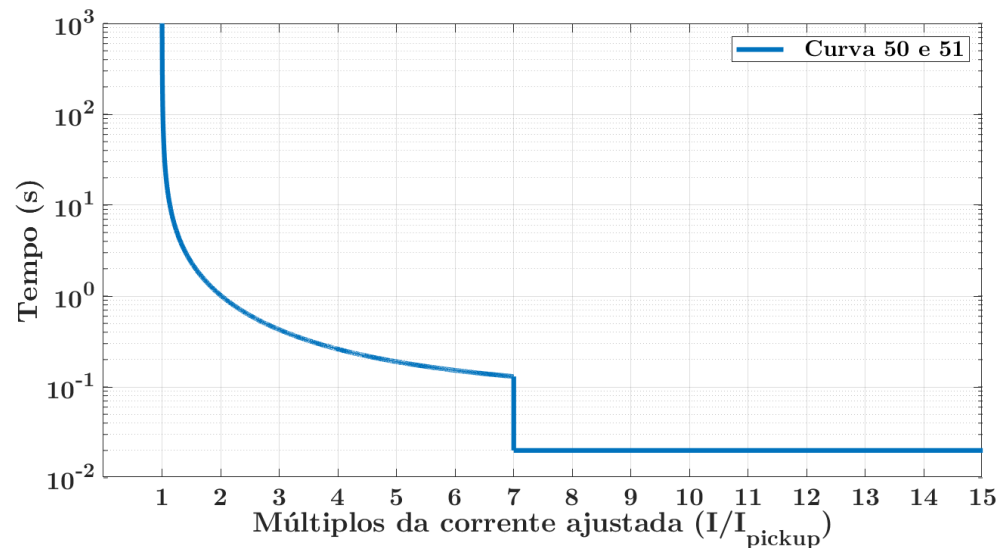


✓ $T=0.1$

Proteção de sub/sobrecorrente



✓ $I > 1,5 \rightarrow t = 0,1$ s

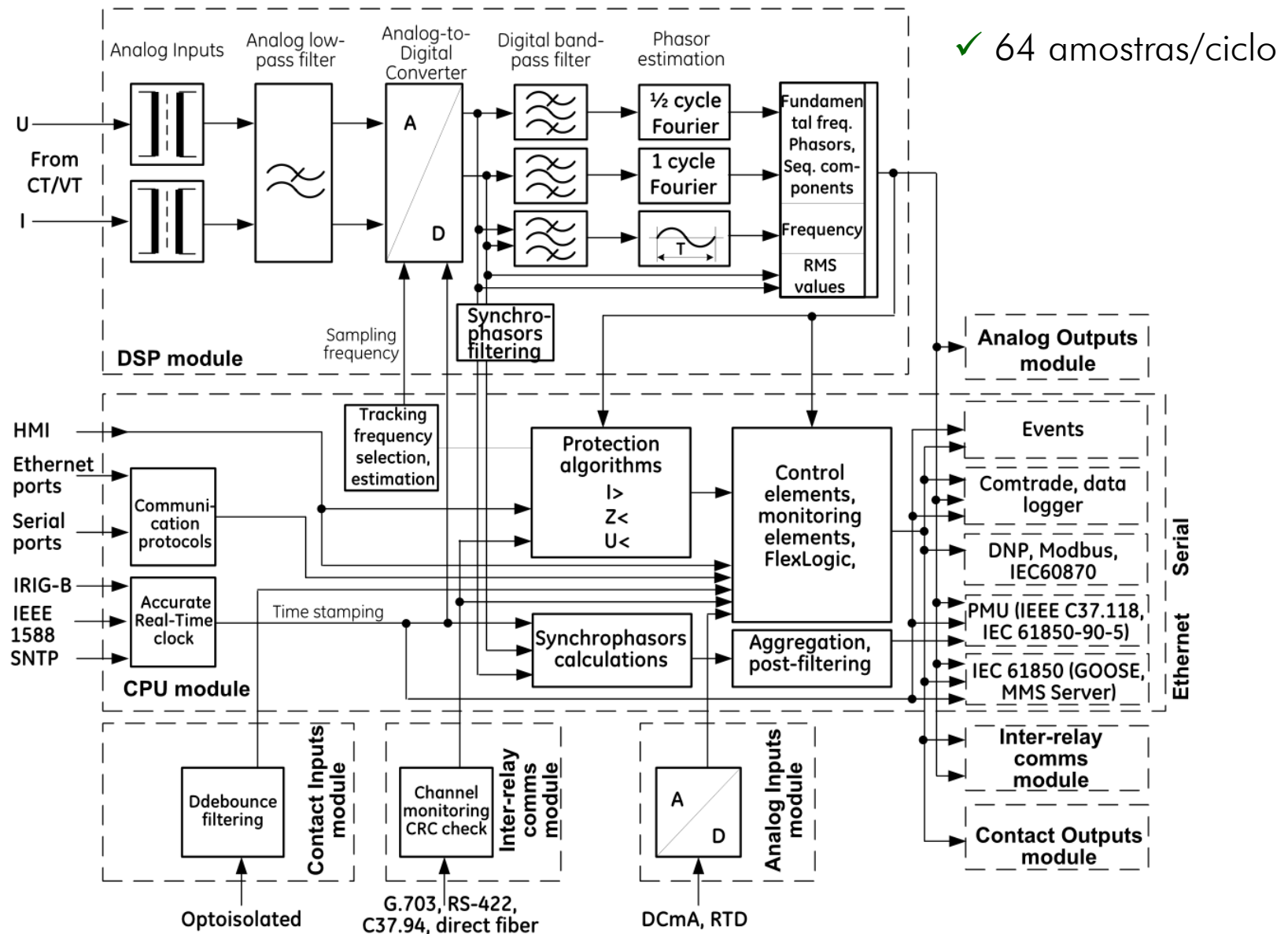


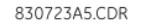
✓ Curva muito inversa e $t = 0,02$ ms para $I/I_{pickup} > 7$

Proteção recomendada para geradores com inversor

Proteção	Código ANSI	Potência instalada (kW)		
		$P \leq 75$	$75 < P \leq 500$	$500 < P \leq 5000$
Sub e sobretensão	27/59	X	X	X
Sub e sobrefrequência	81U/O	X	X	X
Desequilíbrio de corrente	46	-	-	X
Desequilíbrio de tensão	47	-	-	X
Sobrecorrente direcional	67	-	X	X
Sobrecorrente c/ restrição de tensão	50V/51V	-	-	X
Sincronismo	25	X	X	X
Anti-ilhamento	-	X	X	X
Sobrecorrente	50/51	-	X	X
Sobrecorrente de neutro	50N/51N/51G	-	X	X
Sobretensão de neutro	59N	-	X	X
Direcional de potência	32	-	X	X
Medição de ângulo de fase	78	-	X	X
Taxa de variação de frequência	81R	-	X	X

Relé G30 da General Electric (GE)





Relé G30 da General Electric (GE)

Device number	Function
24	Volts per hertz
25	Synchrocheck
27P	Phase undervoltage
27TN	Third harmonic neutral undervoltage
27X	Auxiliary undervoltage
32	Sensitive directional power
40	Loss of excitation
46	Generator unbalance
49	Thermal overload protection
50G	Ground instantaneous overcurrent
50N	Neutral instantaneous overcurrent
50P	Phase instantaneous overcurrent
50SP	Split phase protection
50/27	Accidental energization
51G	Ground time overcurrent

Device number	Function
51N	Neutral time overcurrent
51PV	Phase time overcurrent with voltage restraint
59N	Neutral overvoltage
59P	Phase overvoltage
59X	Auxiliary overvoltage
59_2	Negative-sequence overvoltage
67_2	Negative-sequence directional overcurrent
67N	Neutral directional overcurrent
67P	Phase directional overcurrent
81O	Overfrequency
81R	Rate of change of frequency
81U	Underfrequency
87RGF	Restricted ground fault
87GT	Generator/transformer differential