

Proteção do Serviço Auxiliar

Seminário de Proteção de Usinas Hidrelétricas
e PCHs

Paulo Lima

Sumário

- O problema da elevada corrente de falta no serviço auxiliar
- Detecção de arco elétrico na média e baixa tensão

O Problema da Elevada Corrente de Falta no Serviço Auxiliar

Introdução

- TCs para linhas de transmissão são dimensionados para evitar saturação
- Corrente de falta raramente é maior que 10, e normalmente está entre 3 e 5 vezes a corrente nominal primária do TC

$$\text{Critério: } 20 \geq \left(1 + \frac{X}{R}\right) \cdot I_f Z_b$$

Introdução

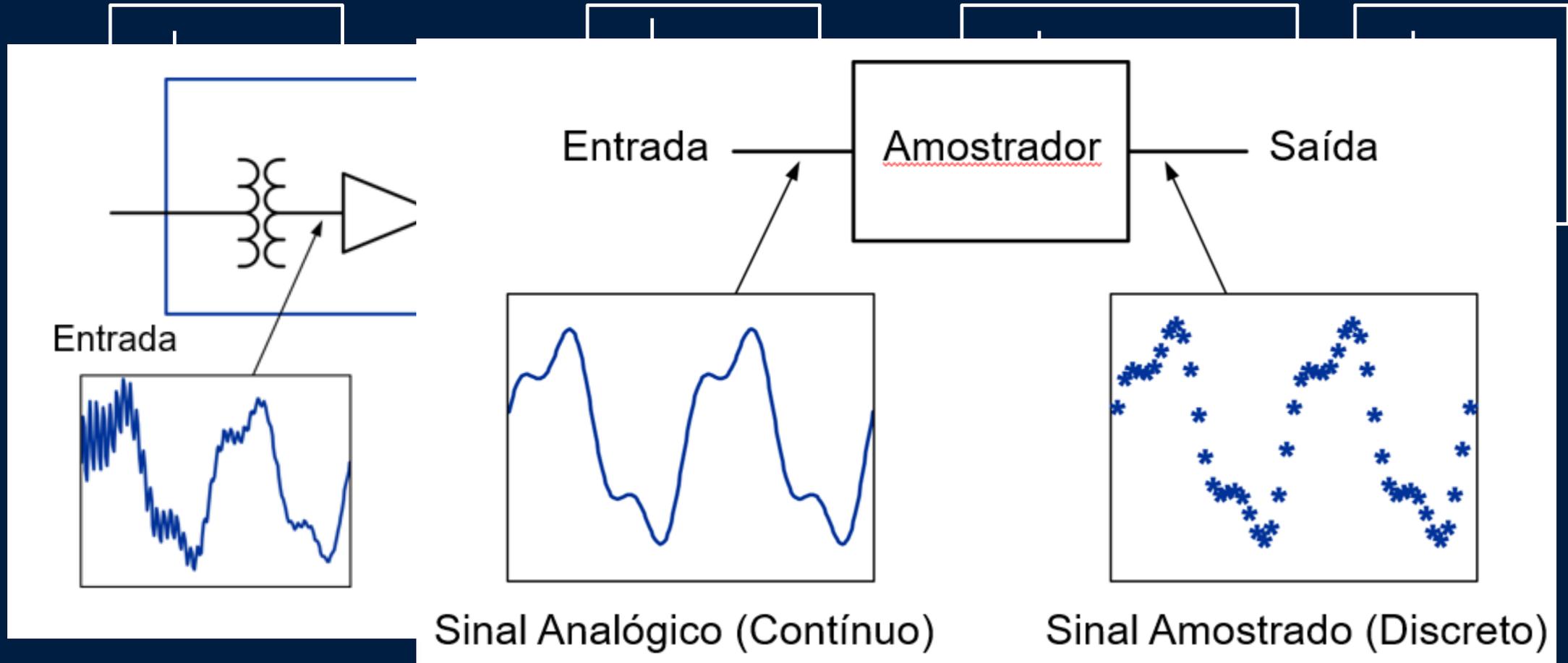
- Para proteção diferencial de transformadores, os TCs com baixa relação no lado de alta podem saturar
- Restrição/Bloqueio por 2° harmônico

Critério: $ANSI \geq 2 * I_{max} * Z_{burden}$

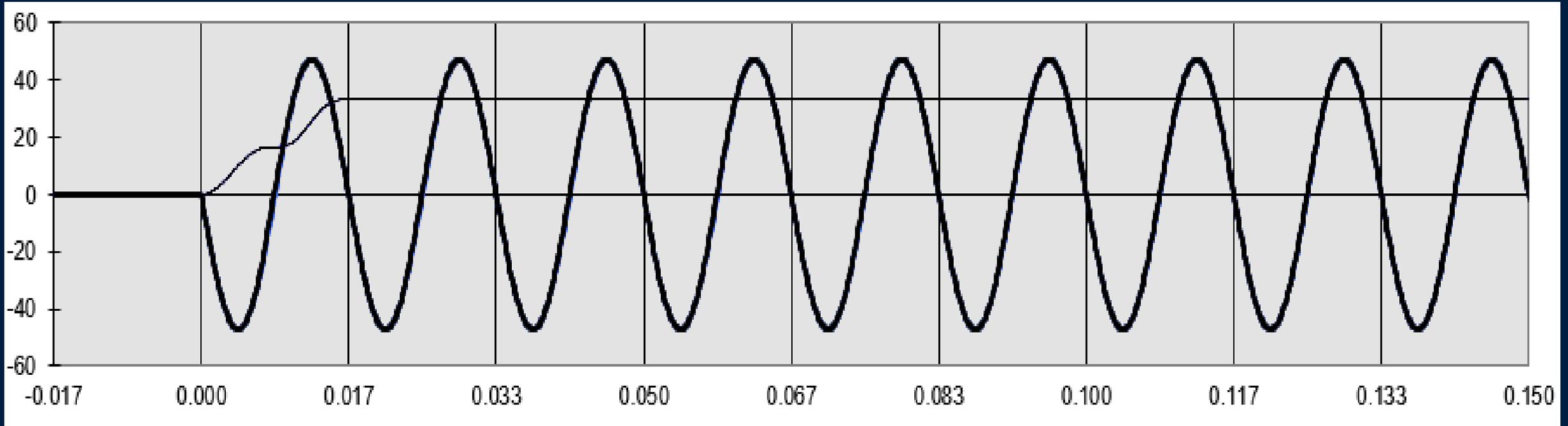
Introdução

- Corrente de curto na MT e BT pode exceder 200 vezes a corrente nominal do TC (40kA)
- Geração próxima é agravante ($X/R \gg \gg$)
- TC deve atender condição de carga e CC

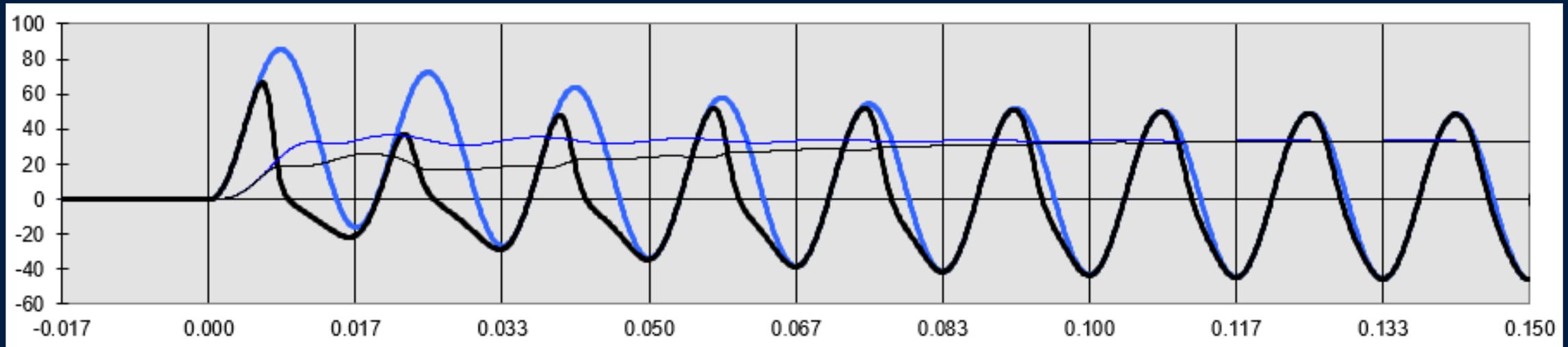
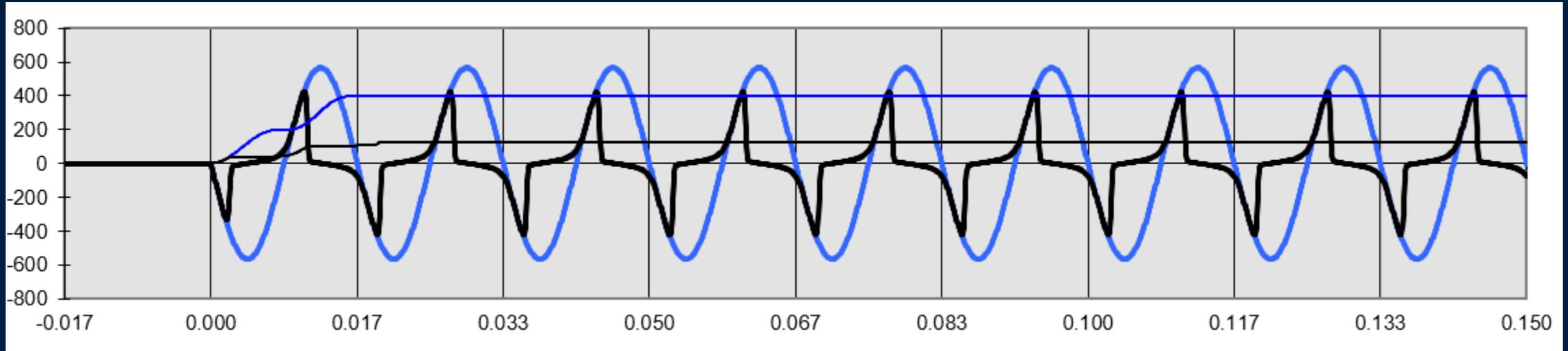
Processo de Medição Fasorial



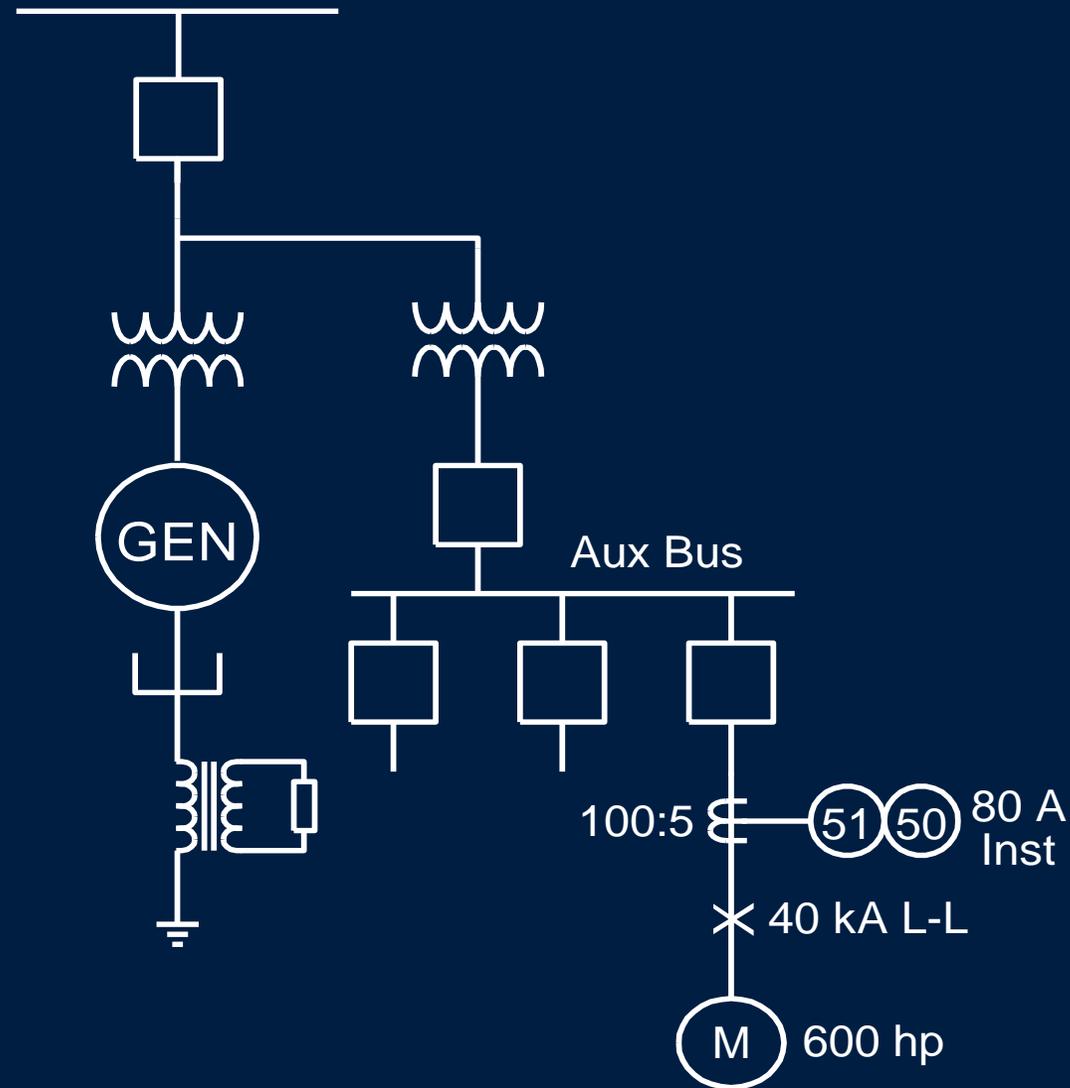
Resposta SEM Saturação do TC



Resposta COM Saturação do TC



Sistema Exemplo



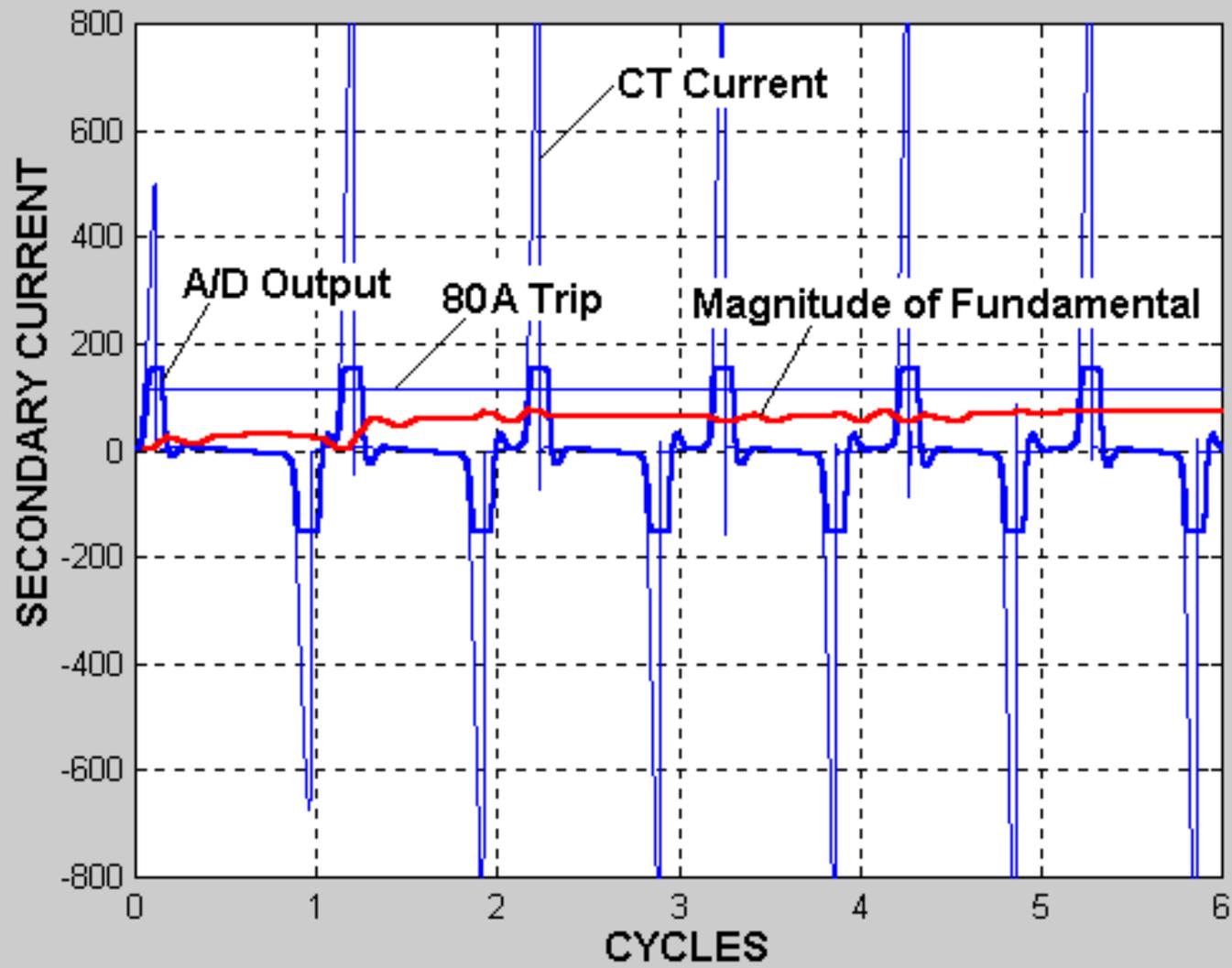
Sistema Exemplo

- Potência: 600 hp
- I_{nominal} : 135 A
- TC: C50, 100:5
- $I_{\text{nominal,sec}}$: 6.7 A
- $I_{\text{rotor travado}}$: 40 A
- Pickup 50: 80 A
- X/R: 20

Resposta do Filtro Digital

- Qual a forma de onda esperada para uma corrente primária de 40kA?
- Qual a resposta da proteção de sobrecorrente instantânea com pickup de 80 A?

Falta de 40kA – C50, 100:5



Falta de 40kA – C50, 100:5

- O TC inadequado com um pickup de 80 A resulta em uma falha da proteção
- Qual critério de seleção de TC devemos utilizar?

Guia IEEE C37.020-1994

The following two sets of ct's may be required:

- a) A low ratio set determined by the rated full load current and overload relaying requirements
- b) A much higher ration/accuracy class combination set dictated by the short-circuit current levels and the ct secondary burden

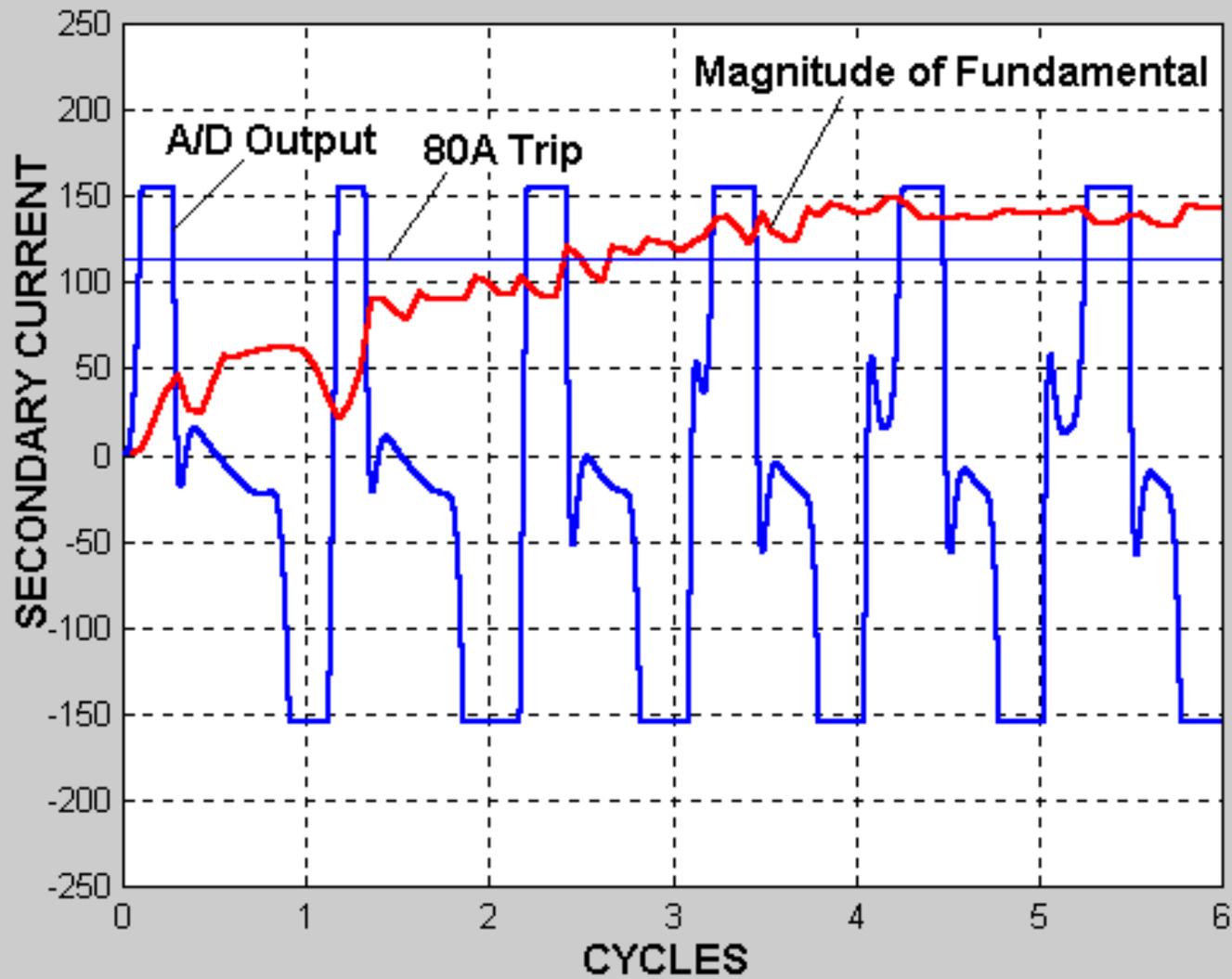
Failure to coordinate ct ratio and accuracy class properly with available short-circuit current and ct secondary burden may result in ct saturation and nonoperation or misoperation of the relay.

The problems and related solutions of applying low ratio ct's in high fault current circuits have been documented in "Relay Performance Considerations with Low Ratio CT's and High Fault Currents," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 8, issue no. 3, pp. 884–897, July 1993.

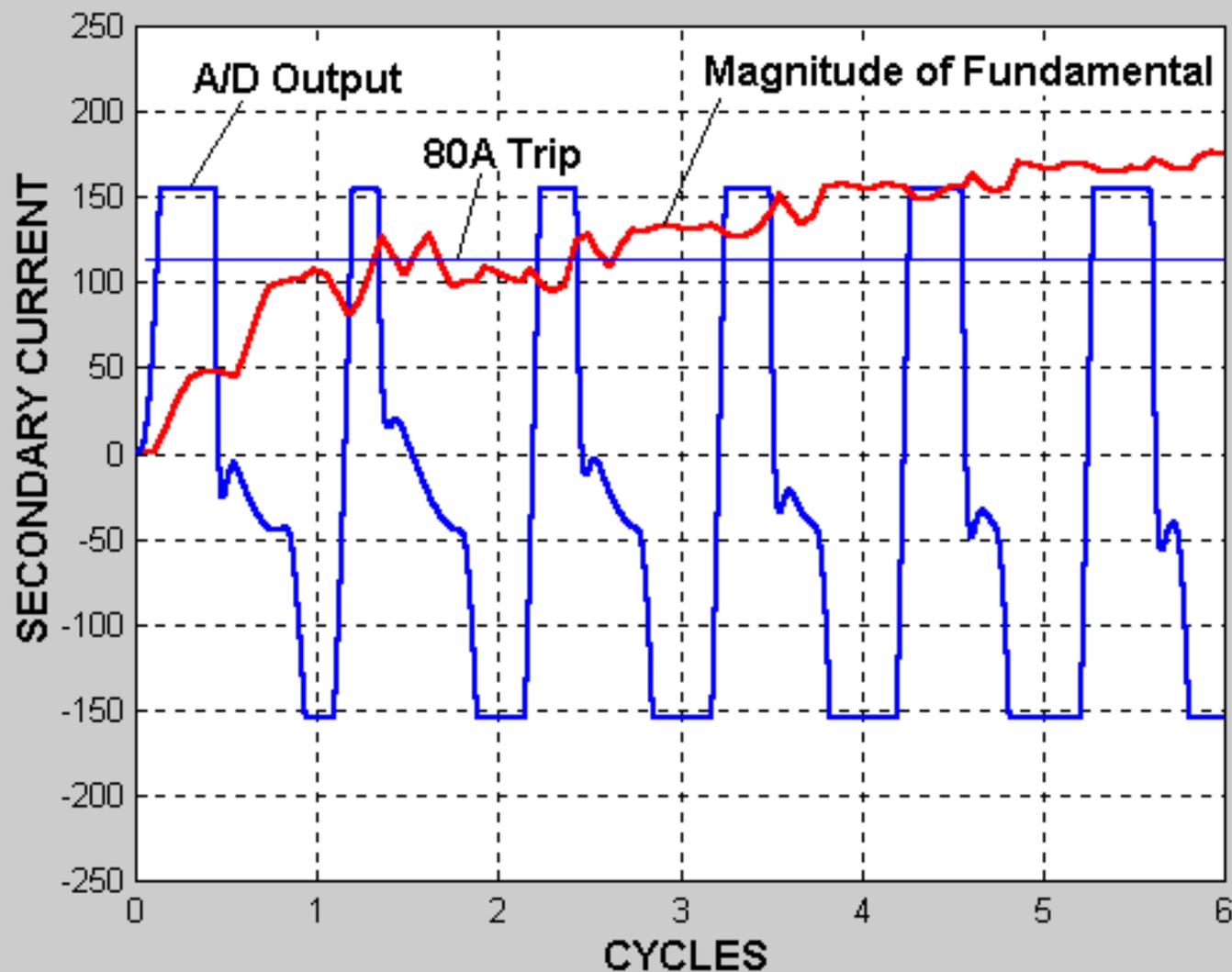
Definindo um Critério de Seleção

- Requisito:
 - ◆ escolher a mínima relação de TC disponível que permite **TRIP** em no máximo 2 ciclos
- Método:
 - ◆ utilizando simulação vamos aumentando a relação de TC até atingir o tempo de atuação desejado

Falta de 40kA – C200, 200:5



Falta de 40kA – C400, 400:5



Tensão Secundária do TC

- A tensão secundária V_s define a saturação *limite*

$$V_s = \left(1 + \frac{X}{R}\right) \cdot I_f Z_b$$

- I_f é a corrente em p.u da corrente nominal do TC
- Z_b é o *burden* em p.u do *burden* nominal do TC
- X/R do circuito analisado

TC 400:5, C400; 40kA falta; X/R=20

- Este é o TC com menor relação e tensão ANSI que permite TRIP em até 2 ciclos
- A tensão secundária desenvolvida determina um **limite de saturação permitido** para relés com filtro cosseno

Temos um critério!

Limite de Saturação

TC 400:5 e falta de 40kA

Corrente de falta:

$$I_f = \frac{I_{Max}}{CT_{Rating}} = \frac{40,000}{400} = 100$$

Burden padrão 4Ω e burden do teste 0.5Ω:

$$Z_b = \frac{Z_{Burden}}{Z_{Std}} = \frac{0.5}{4} = 0.125$$

X/R = 20:

$$V_s \geq (1 + 20)(100)(0.125) = 262.5$$

Critério de Seleção

$$262.5 \geq \left(1 + \frac{X}{R}\right) \cdot I_f Z_b$$

- Relés com filtro digital do tipo cosseno
- Ajuste de sobrecorrente até 80 A sec

Critério de Seleção

- Máxima corrente de falta para um determinado TC

$$I_{MAX} = \frac{262.5}{\left(1 + \frac{X}{R}\right)} \cdot \frac{ANSI}{100 \cdot Z_B} \cdot CT_{RATING}$$

Critério de Seleção

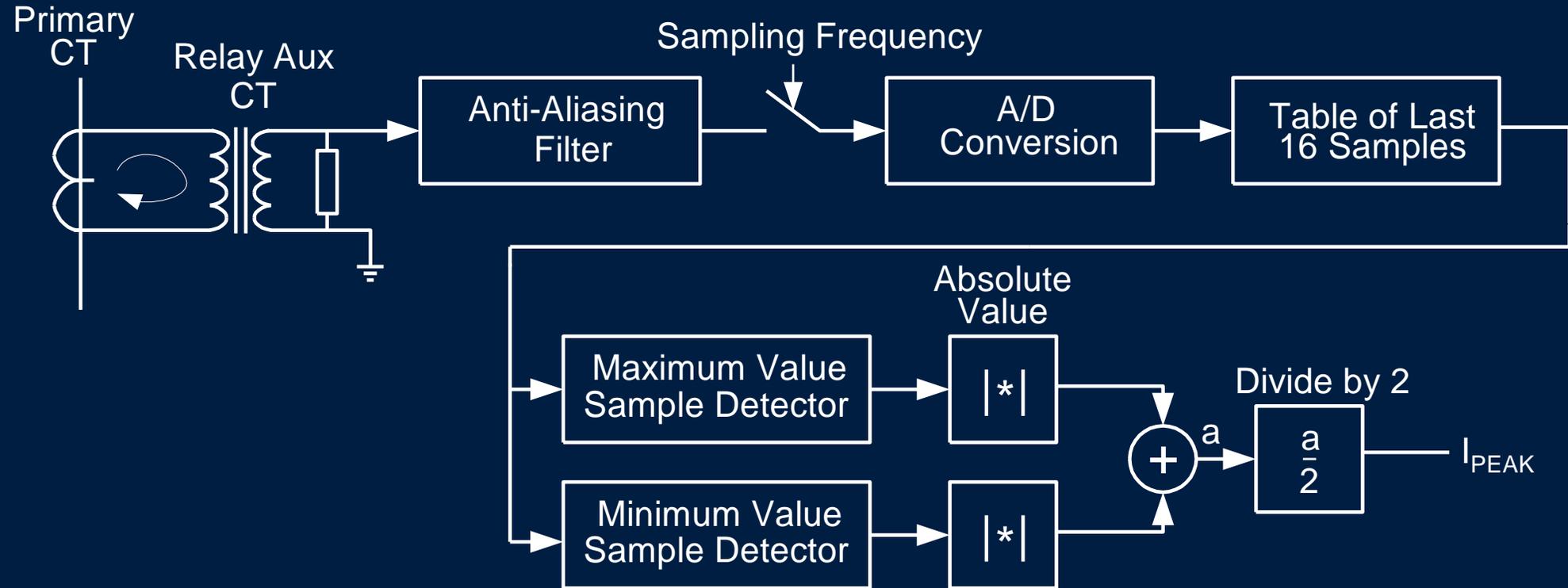
- Mínima corrente nominal para uma dada corrente de falta

$$CT_{\text{RATING}} = \frac{\left(1 + \frac{X}{R}\right)}{262.5} \cdot \frac{100}{\text{ANSI}} \cdot I_{\text{MAX}} Z_B$$

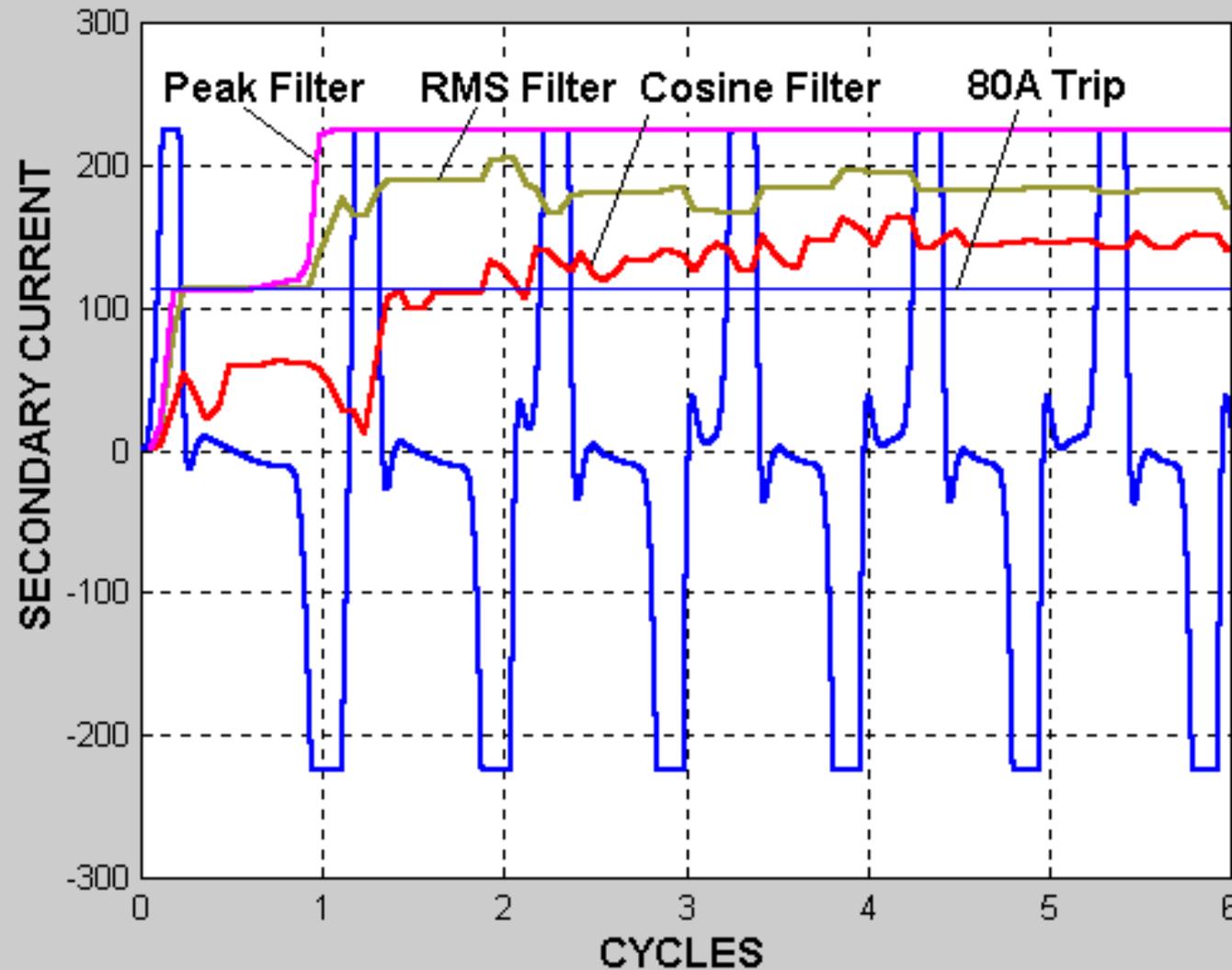
Filtros Utilizados em Relés 50

- Fourier e Cosseno
 - ◆ Elimina harmônicos, componente DC e tem overshoot baixo
- Filtros do tipo RMS e Detector de Pico também podem ser utilizados

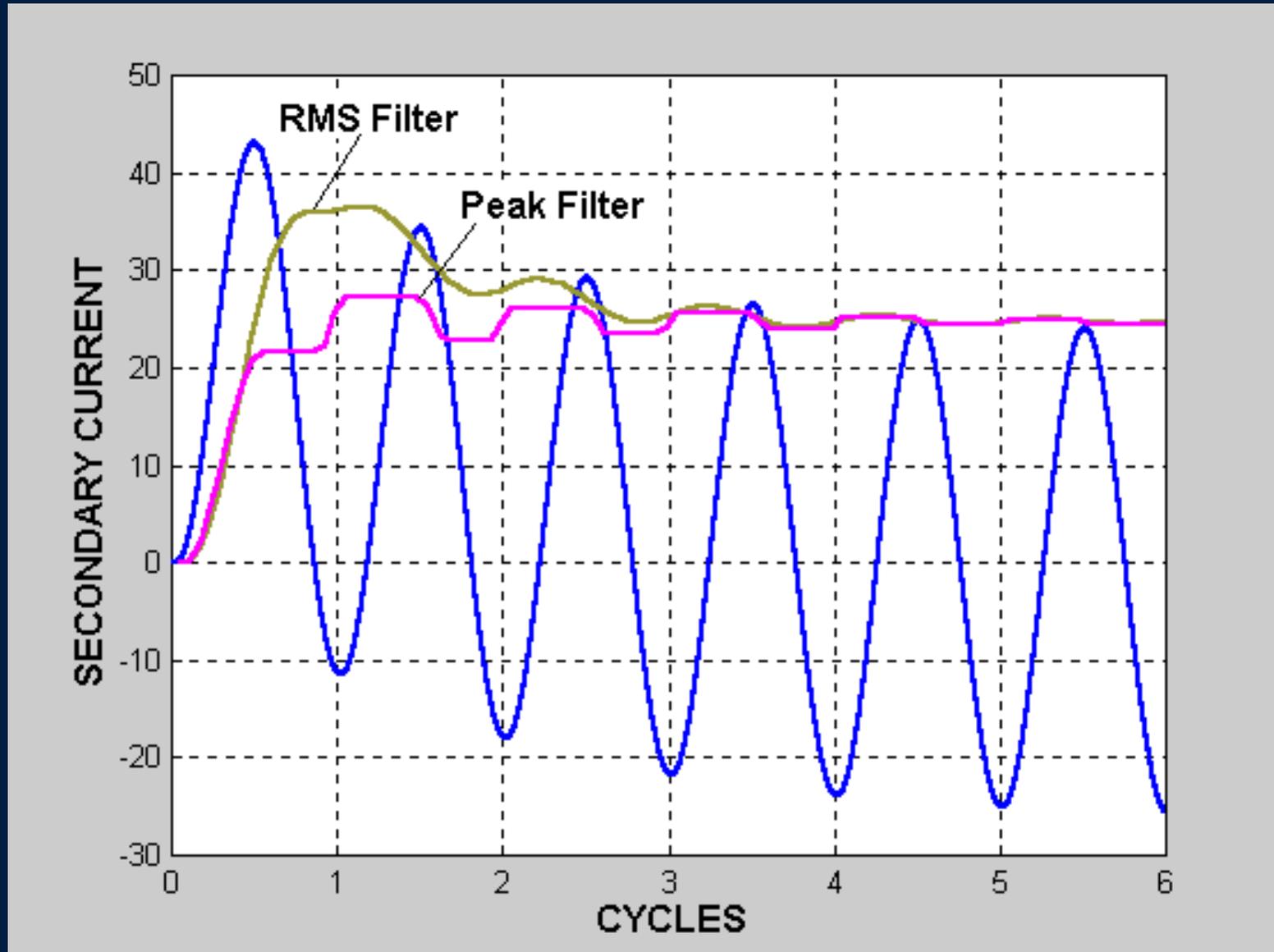
Detector de Pico Bipolar



Resposta Durante Saturação



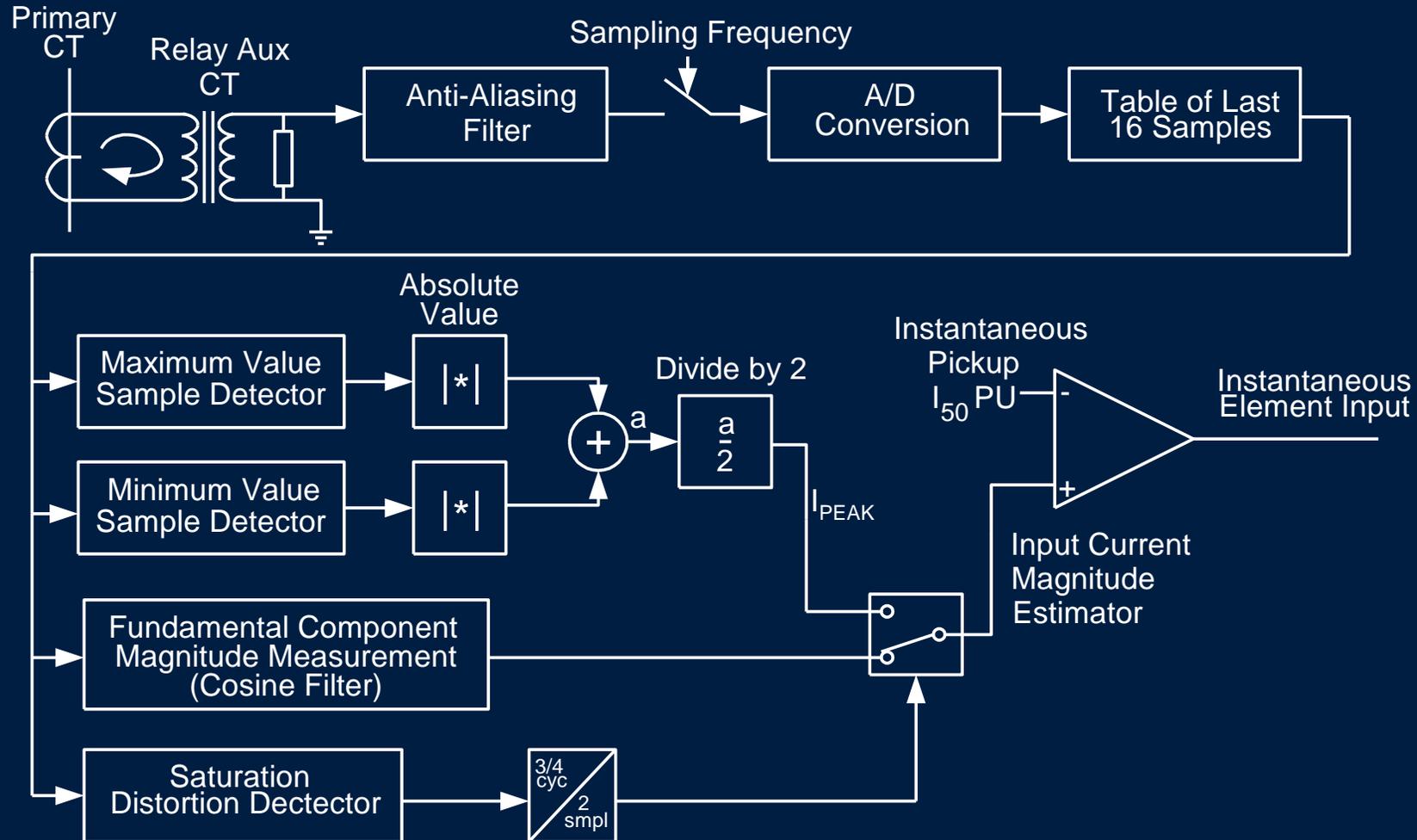
Overshoot – RMS e Detector de Pico



Filtro Adaptativo Cosseno/Detector de Pico

- Filtro Cosseno
 - ◆ Sinais normais ou com leve saturação
- Filtro Detector de Pico
 - ◆ Sinais com elevada saturação
- Índice de distorção harmônica determina qual deve ser utilizado

Filtro Adaptativo Cosseno/Detector de Pico

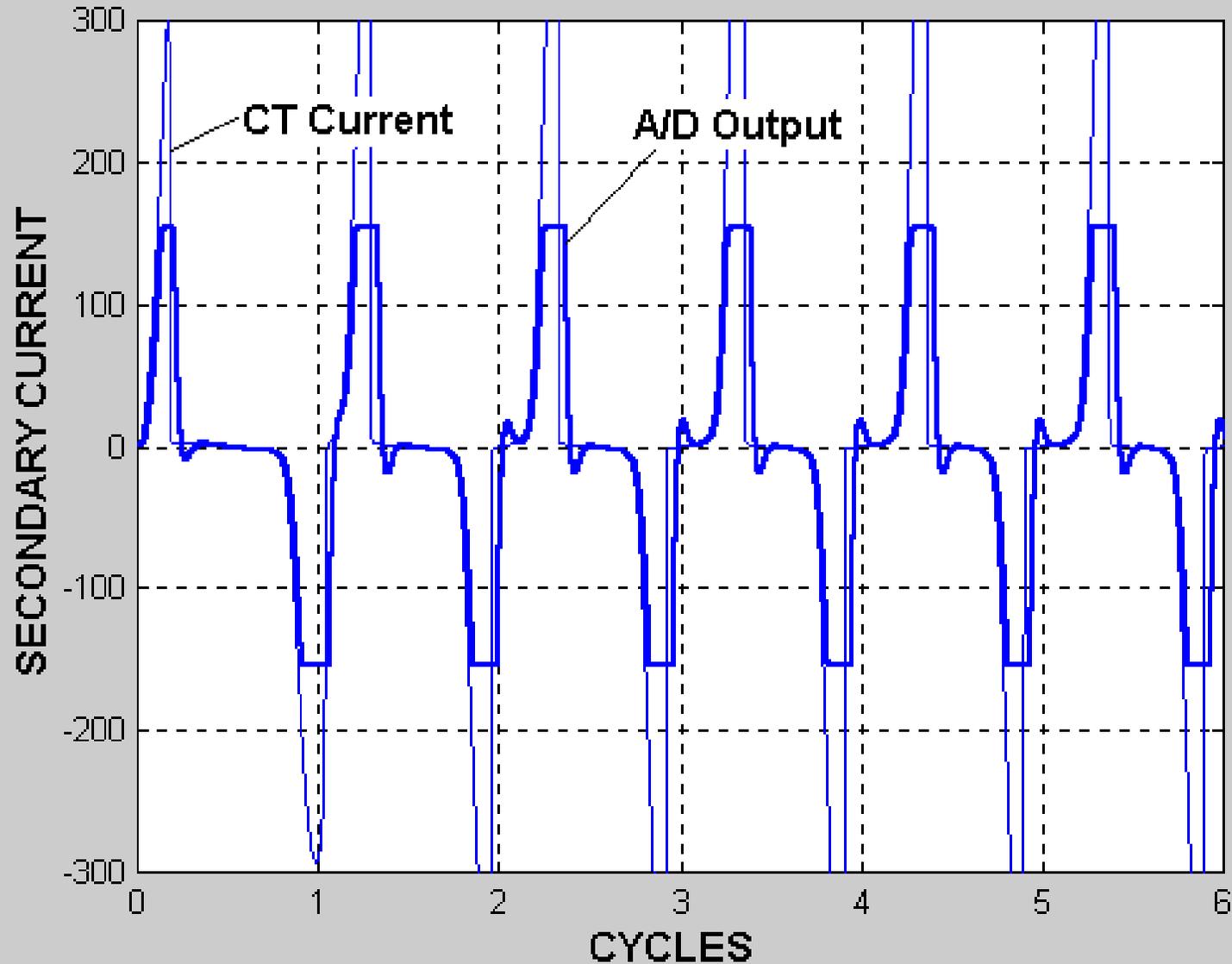


Índice de Distorção

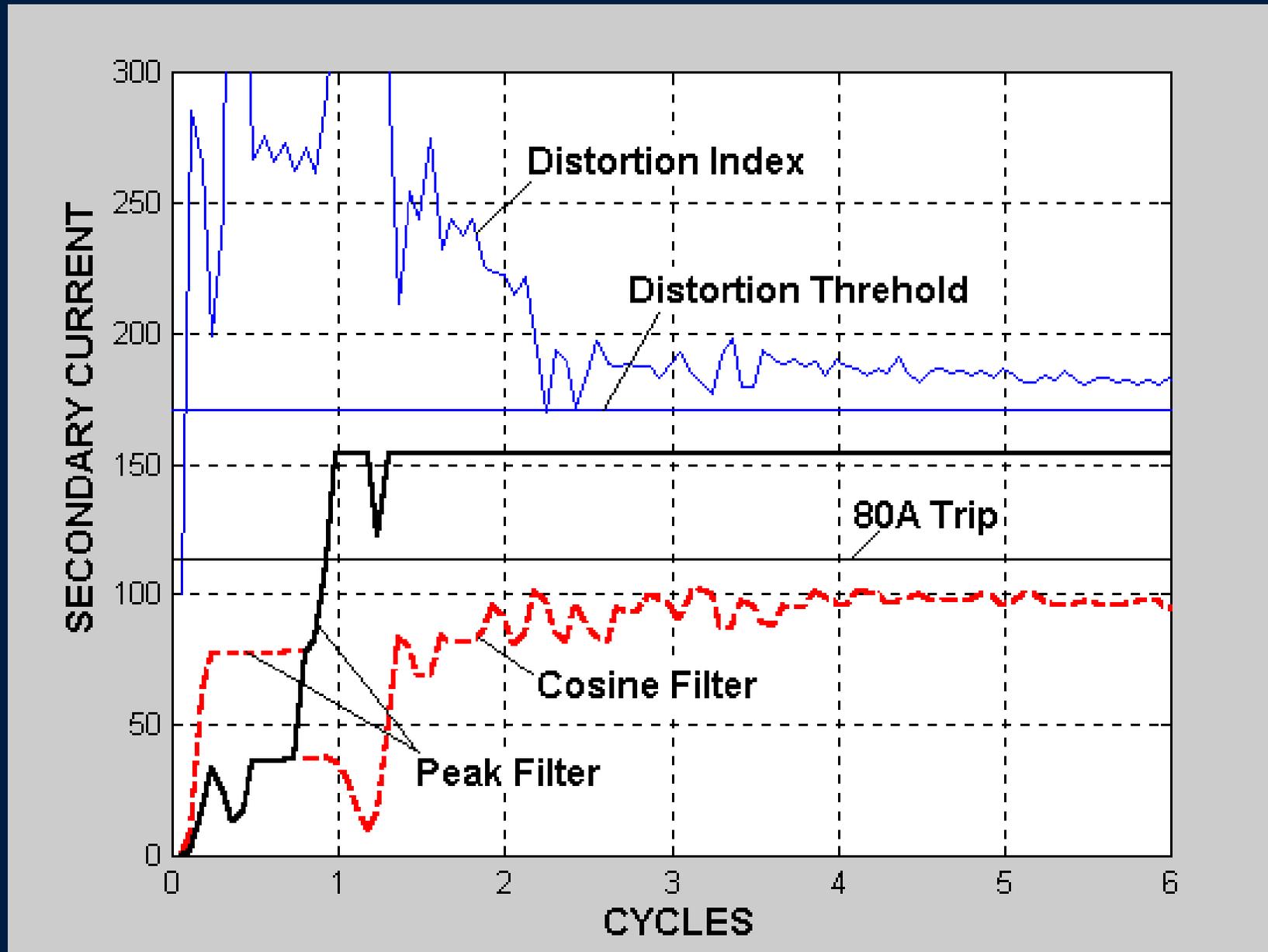
- Utiliza as componentes fundamental, segundo e terceiro harmônico

$$DI = \frac{|A_1| + |A_2| + |A_3|}{|A_1|}$$

Alta Saturação, 20kA, X/R=11.31



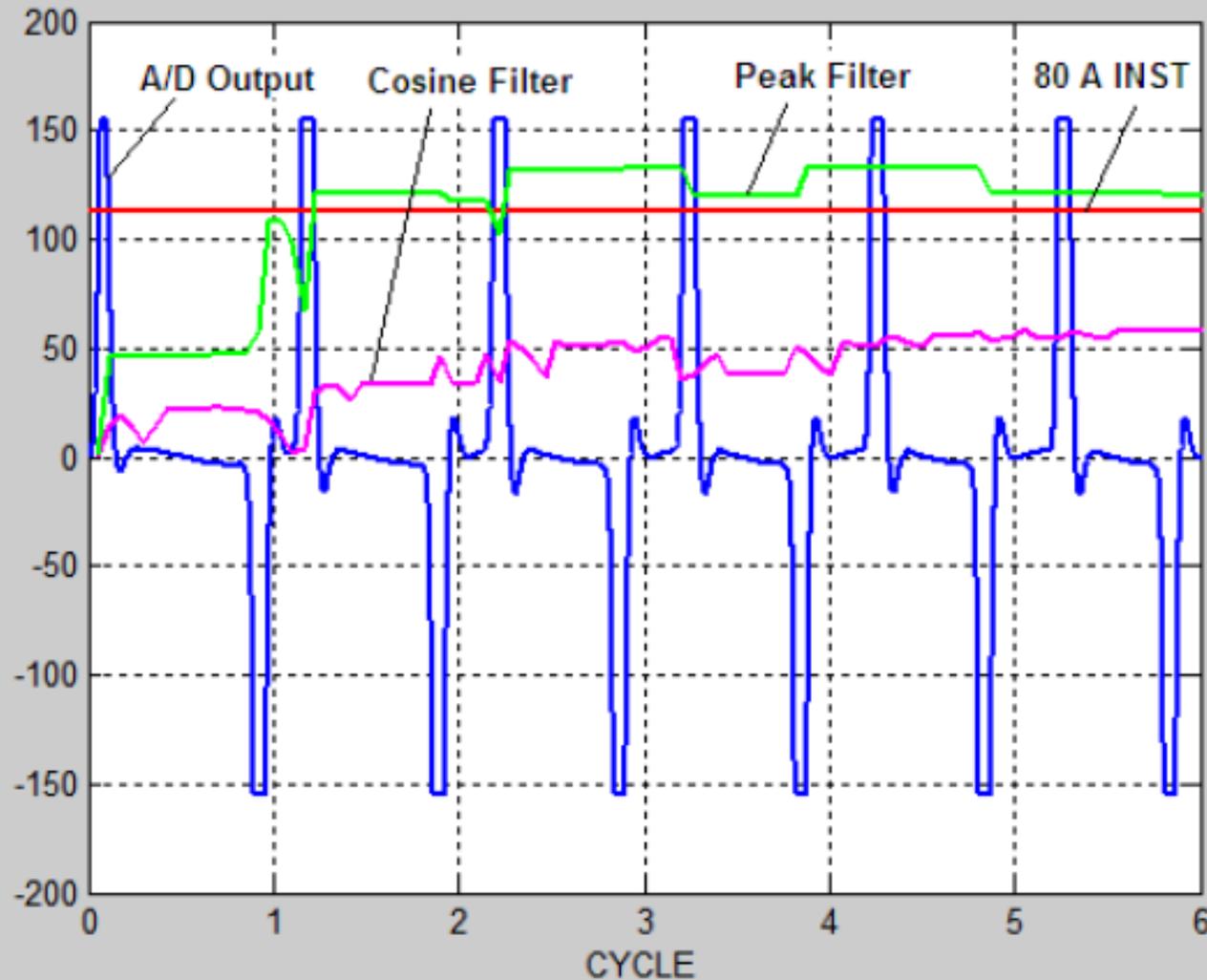
Filtro Detector de Pico Bipolar, 20kA, X/R=11.31



**Qual Critério de Seleção de TC
Utilizar se o Relé Possui Filtragem
Adaptativa?**

Falta de 50kA – C20, 75:5

Pickup 50 = 80A sec



Limite de Saturação

TC 75:5 e falta de 50kA:

$$I_f = \frac{I_{Max}}{CT_{Rating}} = \frac{50,000}{75} = 666.67$$

Burden padrão 0.2 Ω e burden do teste 0.2 Ω :

$$Z_b = \frac{Z_{Burden}}{Z_{Std}} = \frac{0.2}{0.2} = 1$$

X/R = 17:

$$V_s \geq (1 + 17)(666.67) = 12000$$

Critério de Seleção

$$12000 \geq \left(1 + \frac{X}{R}\right) \cdot I_f Z_b$$

- Relés com filtragem adaptativa
(Cosseno-Detector de Pico Bipolar)
- Ajuste de sobrecorrente até 80A sec

Critério de Seleção

- Máxima corrente de falta para um determinado TC:

$$I_{MAX} = \frac{12000}{\left(1 + \frac{X}{R}\right)} \cdot \frac{ANSI}{100 \cdot Z_B} \cdot CT_{RATING}$$

Critério de Seleção

- Mínima corrente nominal para uma dada corrente de falta:

$$CT_{RATING} = \frac{\left(1 + \frac{X}{R}\right)}{12000} \cdot \frac{100}{ANSI} \cdot I_{MAX} Z_B$$

Resumindo

- Evitar saturação do TC

$$20 \geq V_s = \left(1 + \frac{X}{R}\right) \cdot I_f Z_b$$

- Relés com filtro cosseno, sem filtro adaptativo*

$$262.5 \geq \left(1 + \frac{X}{R}\right) \cdot I_f Z_b$$

*Ajuste máximo de sobrecorrente em 80A sec

Resumindo

- Relés com filtro adaptativo Cosseno/Detector de Pico Bipolar*

$$12000 \geq \left(1 + \frac{X}{R}\right) \cdot I_f Z_b$$

- Também deve ser verificado
 - ◆ Corrente de carga do circuito
 - ◆ Suportabilidade da entrada de corrente do relé
 - ◆ Suportabilidade térmica do TC

*Ajuste máximo de sobrecorrente em 80A,sec

Benefícios da Filtragem Adaptativa

- Dimensionar TCs de menor relação e menor tensão de saturação
- Utilizar mesmo TC para medição e proteção
- Garantia de atuação da proteção
 - Confiabilidade e seletividade

Relés com Filtragem Adaptativa

- SEL-351A
- SEL-351S
- SEL-351(-0 até 7)
- SEL-501
- SEL-551
- SEL-551C
- SEL-587
- SEL-701
- SEL-710, SEL-849
- SEL-749M
- SEL-751
- SEL-751A
- SEL-787
- SEL-700G

Detecção de Arco Elétrico e Mitigação da Energia Incidente no Serviço Auxiliar

O Que é Um Arco Elétrico?

- Descarga que pode surgir com a ruptura de um dielétrico (isolação) entre dois pontos com potenciais diferentes
- Energia do arco: proporcional $V \cdot I \cdot t$

Locais com Maior Risco

- Seções de entrada de alimentação
 - ◆ Transição do cabo para barramento
- Pontos de conexão do disjuntor
- Transições das seções do barramento

Características do Arco Elétrico

- Libera uma grande quantidade de energia em um curto espaço de tempo
- Temperatura de até 20.000°C – 4x temperatura na superfície do sol
- Vapores metálicos tóxicos, projeção de metal fundido (1200 km/h)
- Luz extremamente intensa
- Onda de pressão violenta

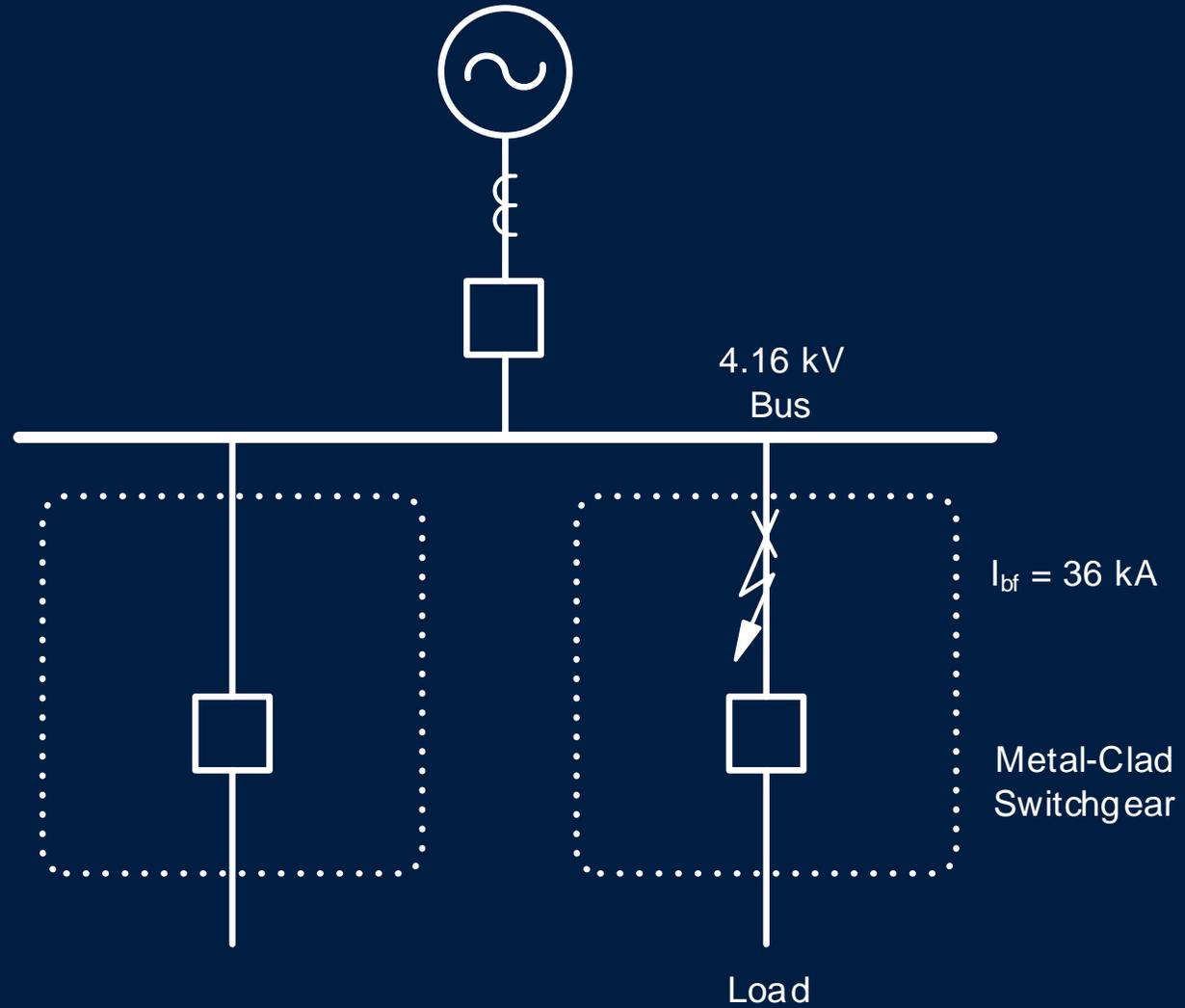
Riscos Para o Ser Humano

- Queimaduras
- Esmagamentos, fraturas ósseas
- Perda de membro
- Surdez
- Ferrimentos resultantes de estilhaços
- Comprometimento da visão
- Morte

Danos Materiais e Perda de Geração



Sistema Exemplo



Sistema Exemplo

- 60 Hz
- Solidamente aterrado
- 4.16kV (fase-fase)
- Espaçamento entre condutores 70 mm
- Distância de trabalho típica 910 mm
- $I_{bf} = 36\text{kA}$

Cálculo da Energia Incidente Segundo IEEE 1584

- Corrente de arco:

$$\log I_a = 0.00402 + 0.983 \log I_{bf}$$

$$\log I_a = 0.00402 + 0.983 \log(36)$$

$$I_a = 10^{1.534} = 34.2kA$$

Cálculo da Energia Incidente Segundo IEEE 1584

- Energia incidente normalizada:

$$\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1.081 \cdot \log(I_a) + 0.0011 \cdot G$$

$$E_n = 10^{1.067} = 11.67 \text{ (J / cm}^2\text{)}$$

E_n é a energia incidente (J/cm²) normalizada.

K_1 é – 0.555 para configurações em caixas.

K_2 é – 0.113 para sistemas aterrados.

G é o espaçamento entre os condutores (mm)

Cálculo da Energia Incidente Segundo IEEE 1584

- Energia incidente:

$$E = C_f \cdot E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

E – a energia incidente (cal/cm²)

C_f – 1.0 para tensões acima de 1 kV

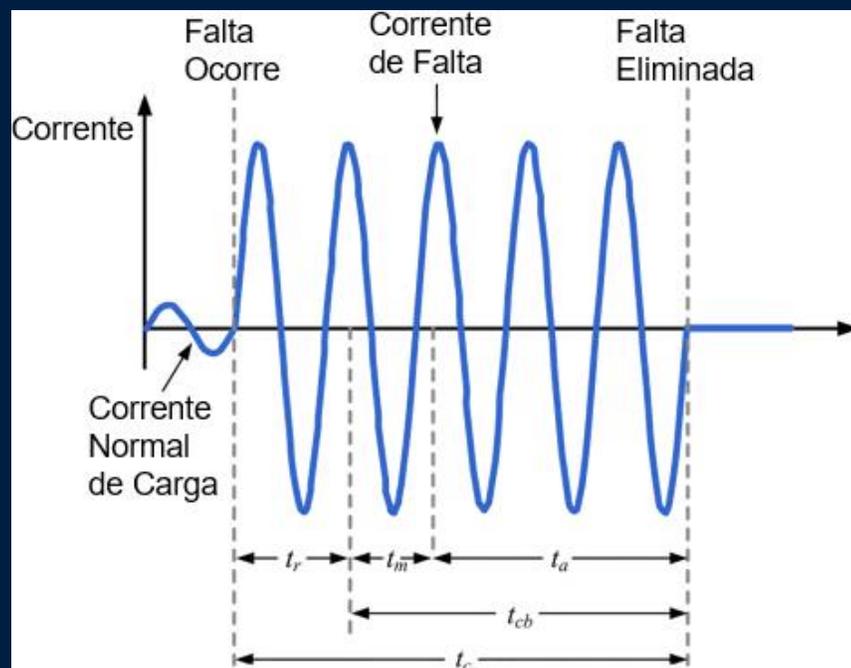
t – é o tempo do arco (s)

D – a distância do arco até o indivíduo (mm)

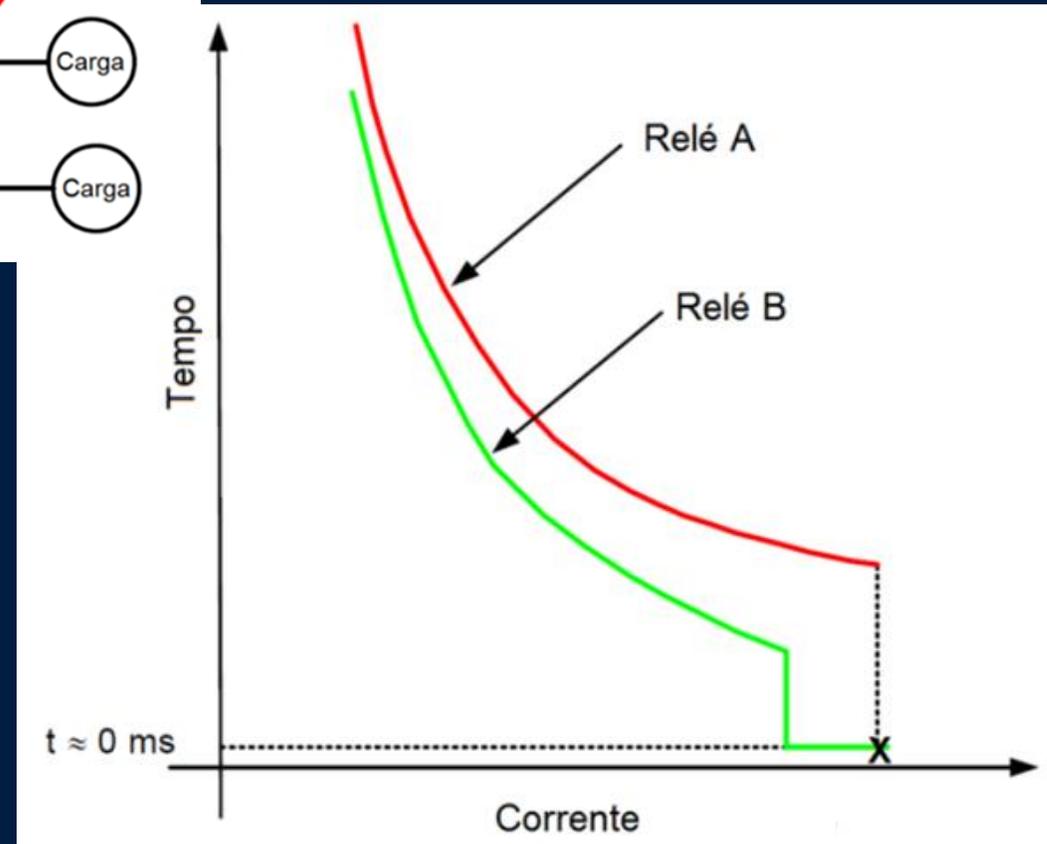
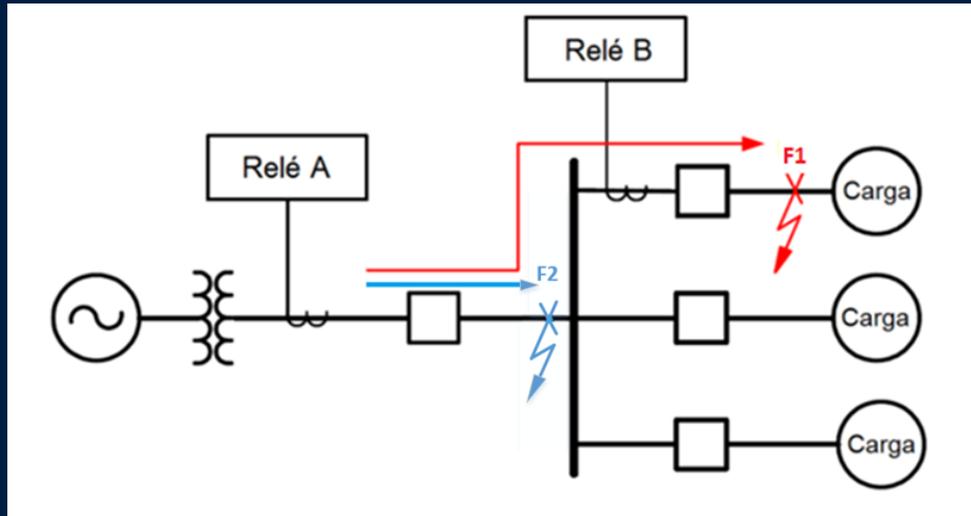
x – é o expoente da distância

Tempo de Duração do Arco

- Tempo do relé (início da corrente de falta até fechamento do contato de saída)
- Tempo de abertura do disjuntor – 2 a 5 ciclos



Tempo da Proteção com Coordenação Temporal – 51



Proteção de Sobrecorrente Temporizado

- Operação do relé – 41 ciclos
- Operação do disjuntor – 5 ciclos
- $t = 0.77s$

$$E = C_f E_n \left(\frac{0.77}{0.2} \right) \left(\frac{610^{0.973}}{910^{0.973}} \right) = 30.44 (\text{cal} / \text{cm}^2)$$

Relé de Proteção com Sensor de Arco

- Flash de luz produzido por arco elétrico



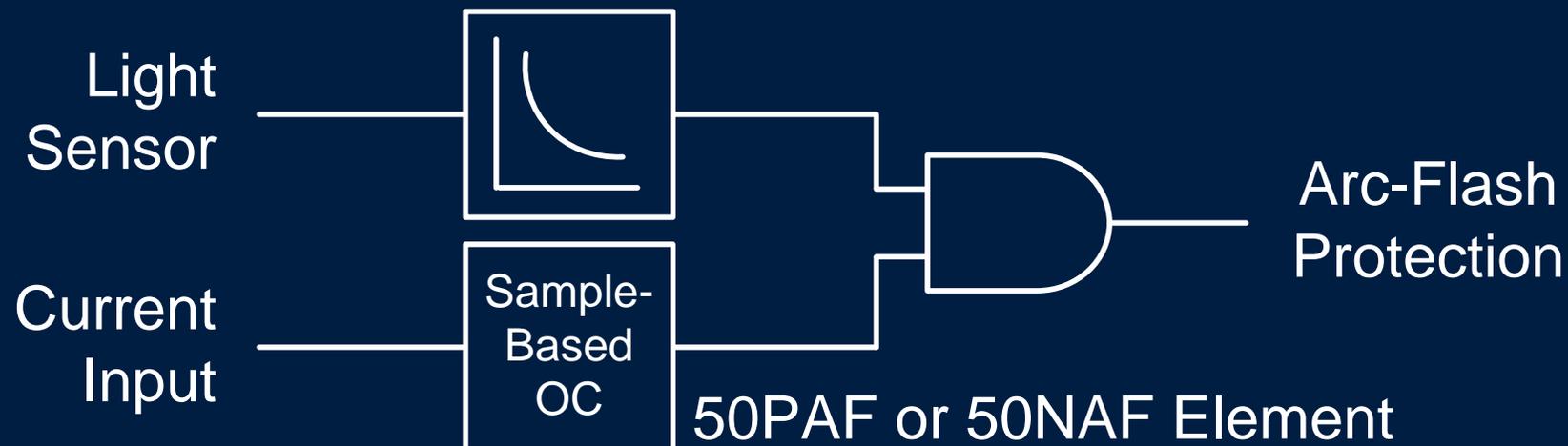
Luz Produzida Por um Arco Elétrico

- Flash de luz muito brilhante
- Acima de 100,000 lux
- Pode ser confundido

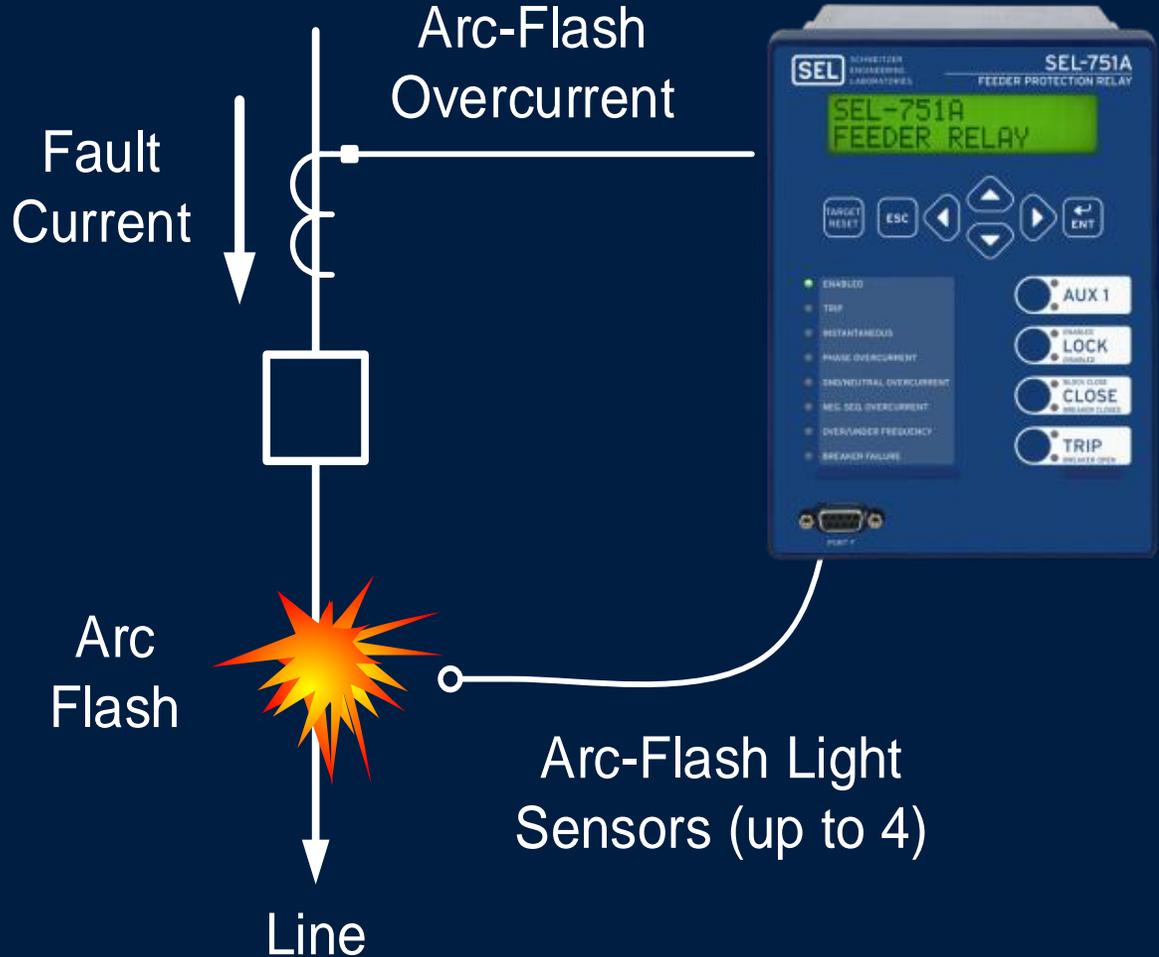
INTENSIDADE DAS FONTES DE LUZ	
Fonte	Lux a 457 mm (18 in)
Flash de câmeras	234,000
Luz solar direta (a qualquer distância)	100,000
Lanterna de LED AA de alta intensidade	28,000
Lanterna de LED AA comum	4,560

Detecção de Arco Rápida e Segura

- Sensor regional ou pontual
- Supervisão de sobrecorrente
- Contatos de saída de alta velocidade
- Atuação de 2 a 5 ms



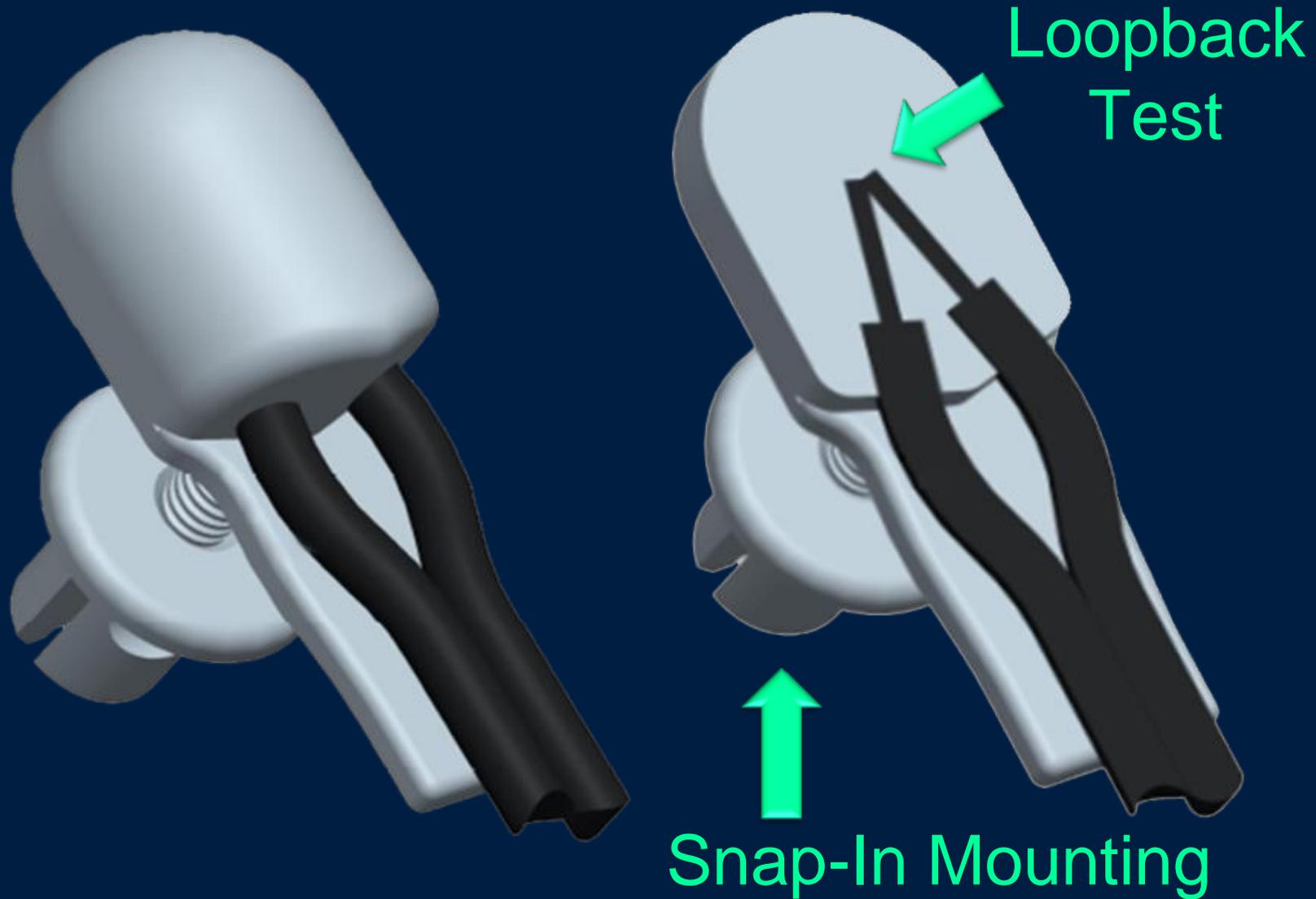
Relé de Arco Incorporado ao Relé de Proteção



Cartão de Arco nos Relés SEL-7xx



Sensor Pontual e Auto Teste



Auto Teste

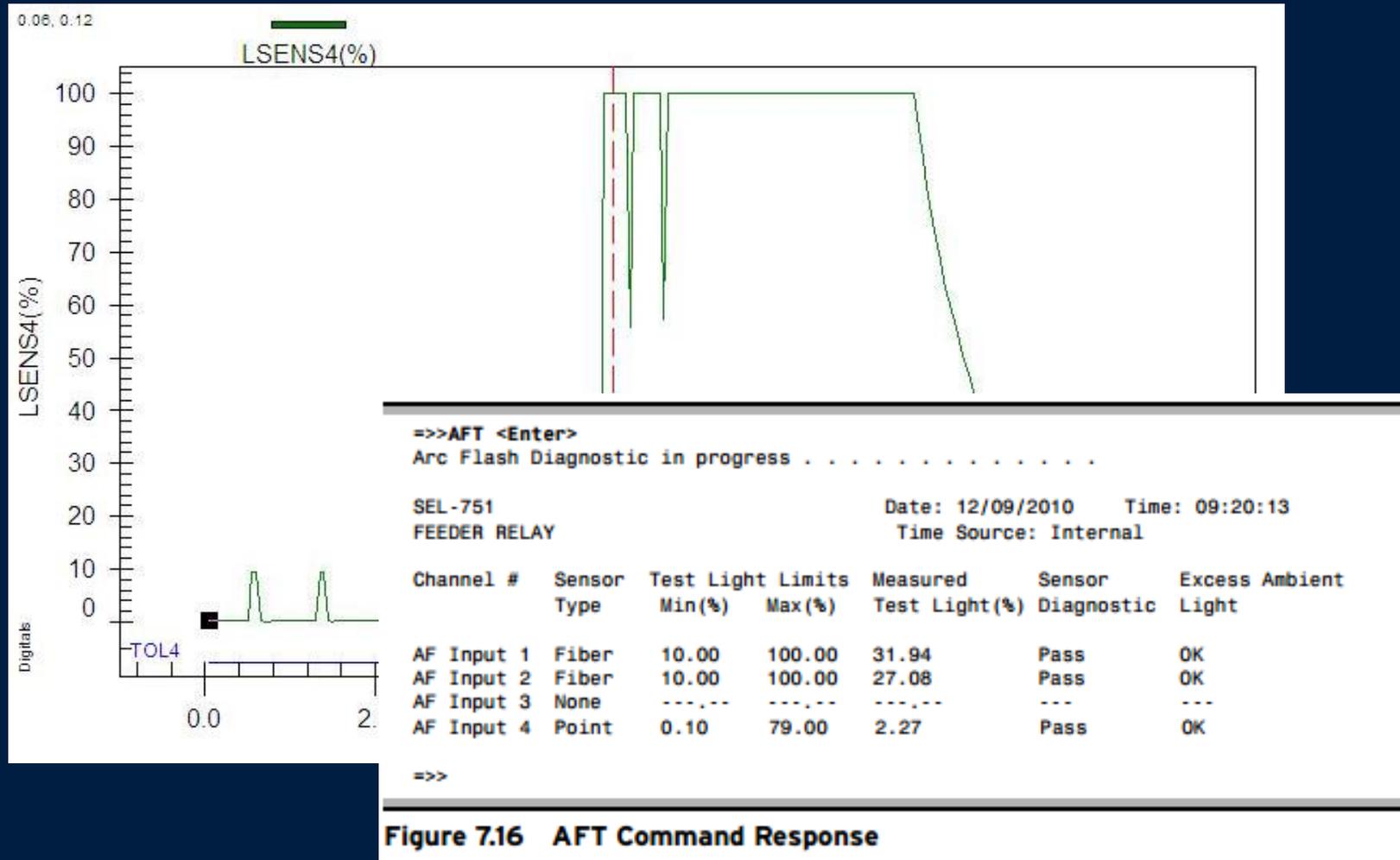
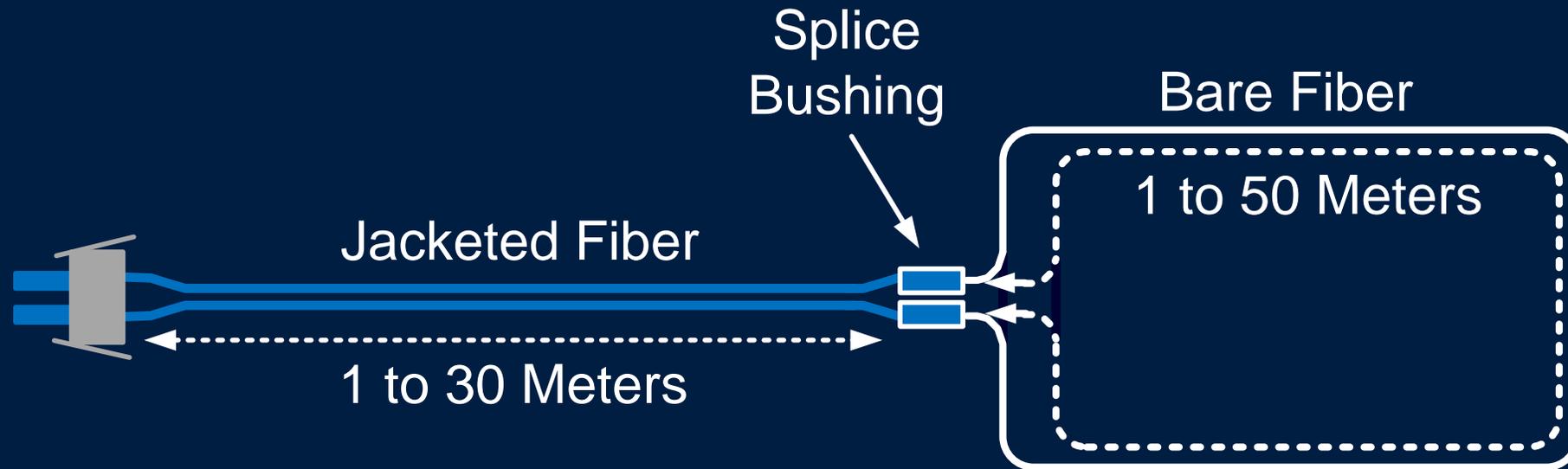
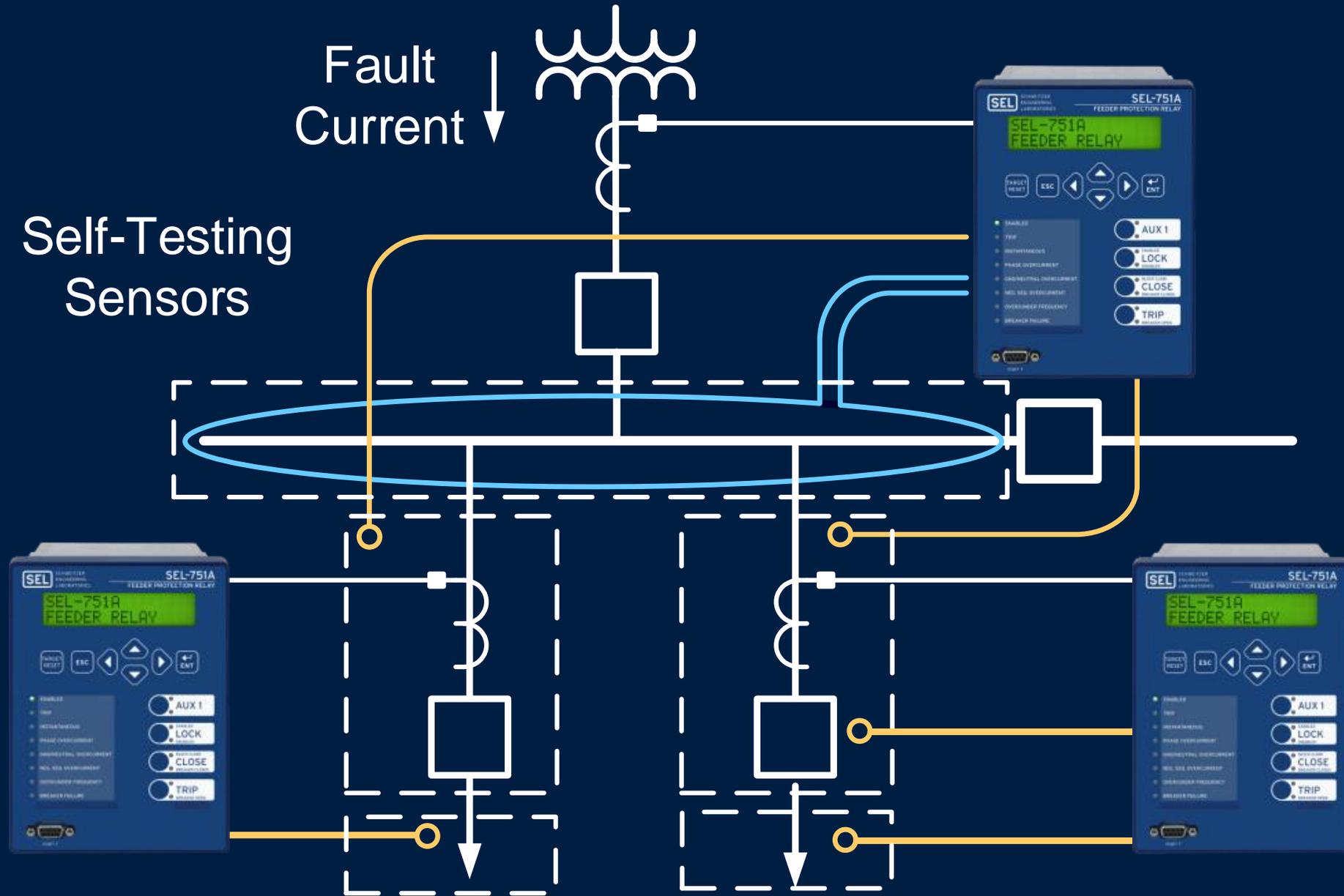


Figure 7.16 AFT Command Response

Sensor Regional – Fibra Descoberta



Exemplo de Aplicação



Relé de Proteção com Sensor de Arco Incorporado

- Operação do relé – 4 ms
- Operação do disjuntor – 5 ciclos
- Total = 0.092s

$$E = C_f E_n \left(\frac{0.092}{0.2} \right) \left(\frac{610^{0.973}}{910^{0.973}} \right) = 3.64 (\text{cal} / \text{cm}^2)$$

Redução de Energia Incidente

30.44 cal/cm²



3.64 cal/cm²



Redução de 88%!!!

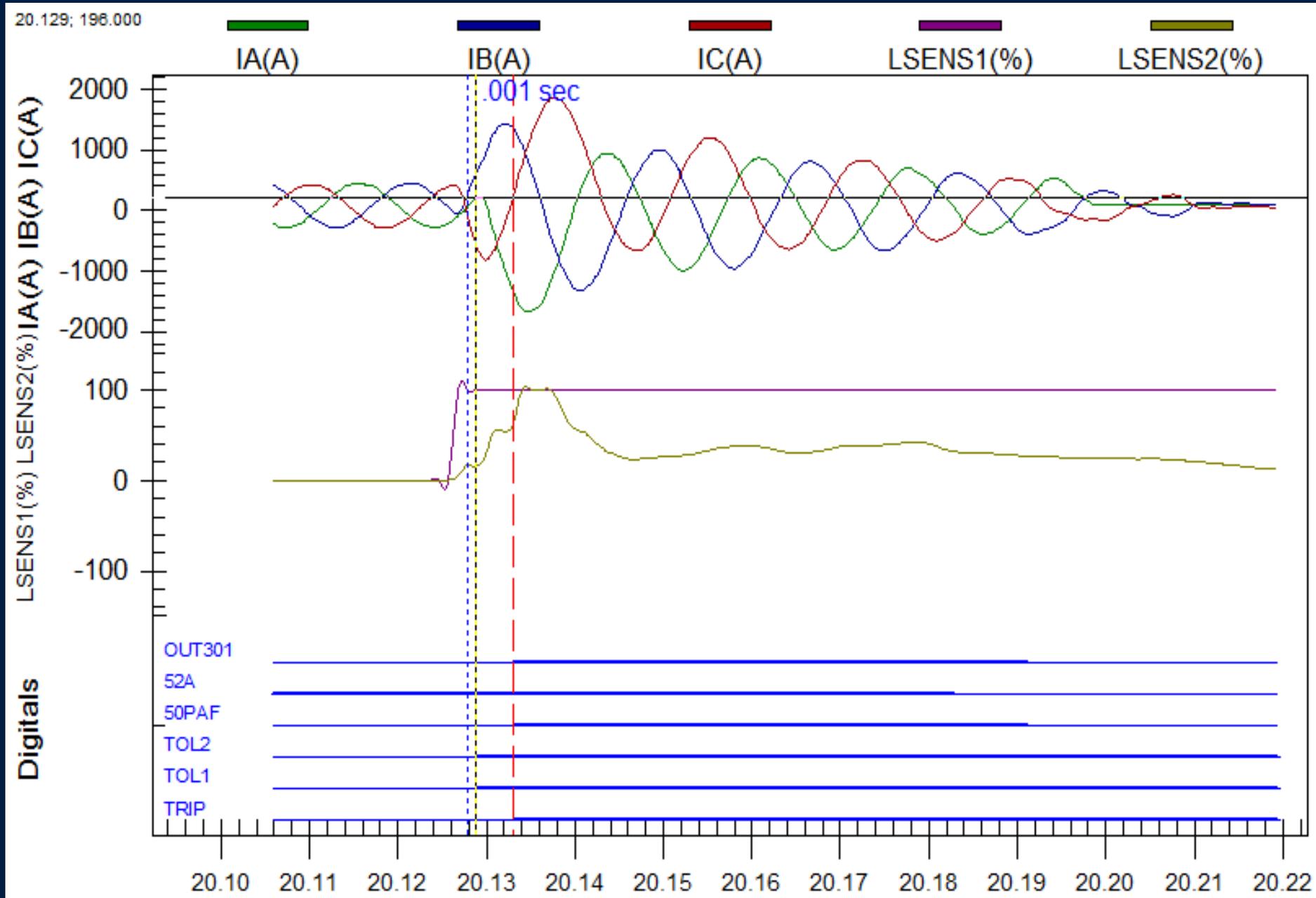
46-Cycle Arc Flash

5-Cycle Arc Flash

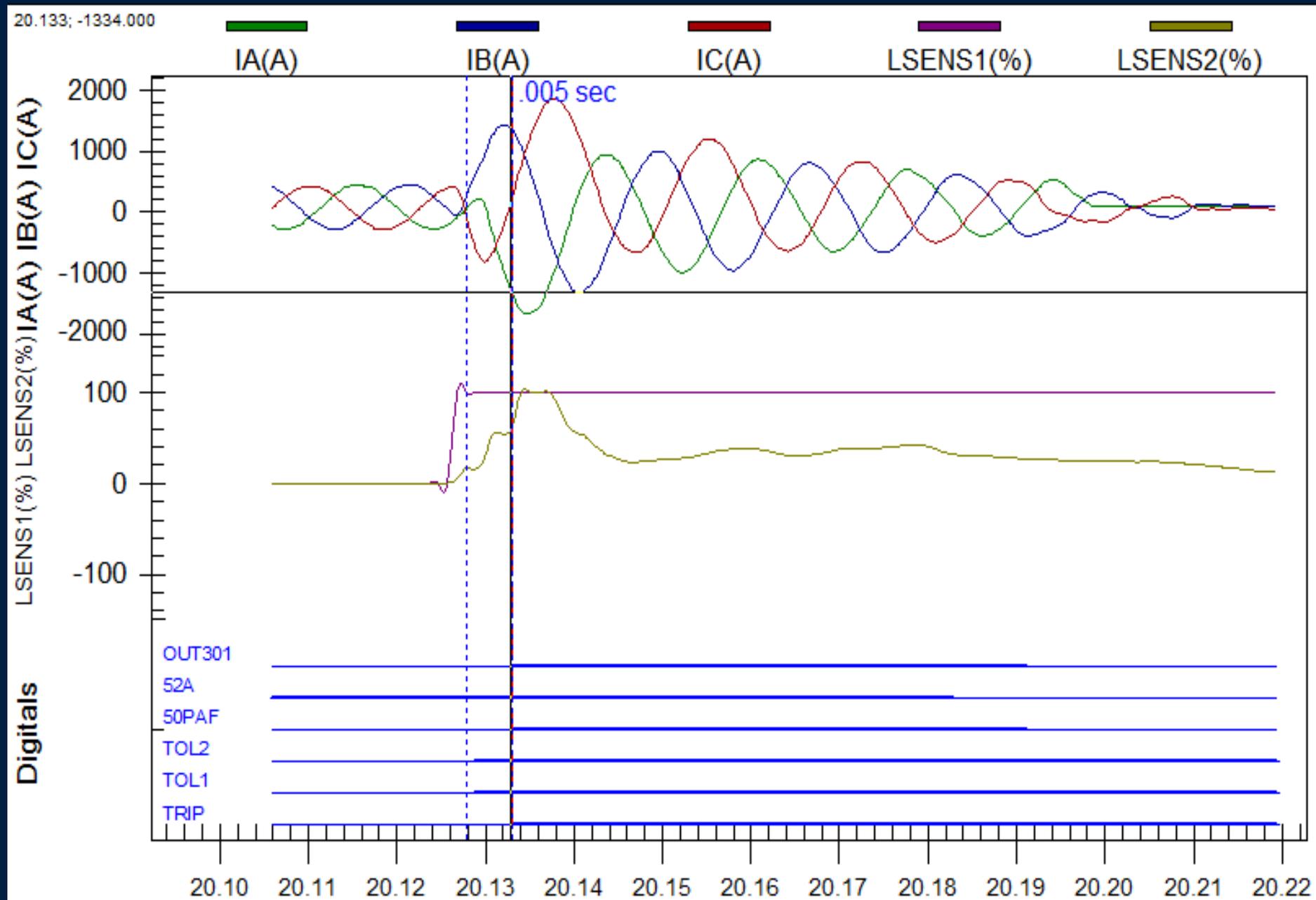
Casos Reais de Eventos Com Arco

SEL-751A

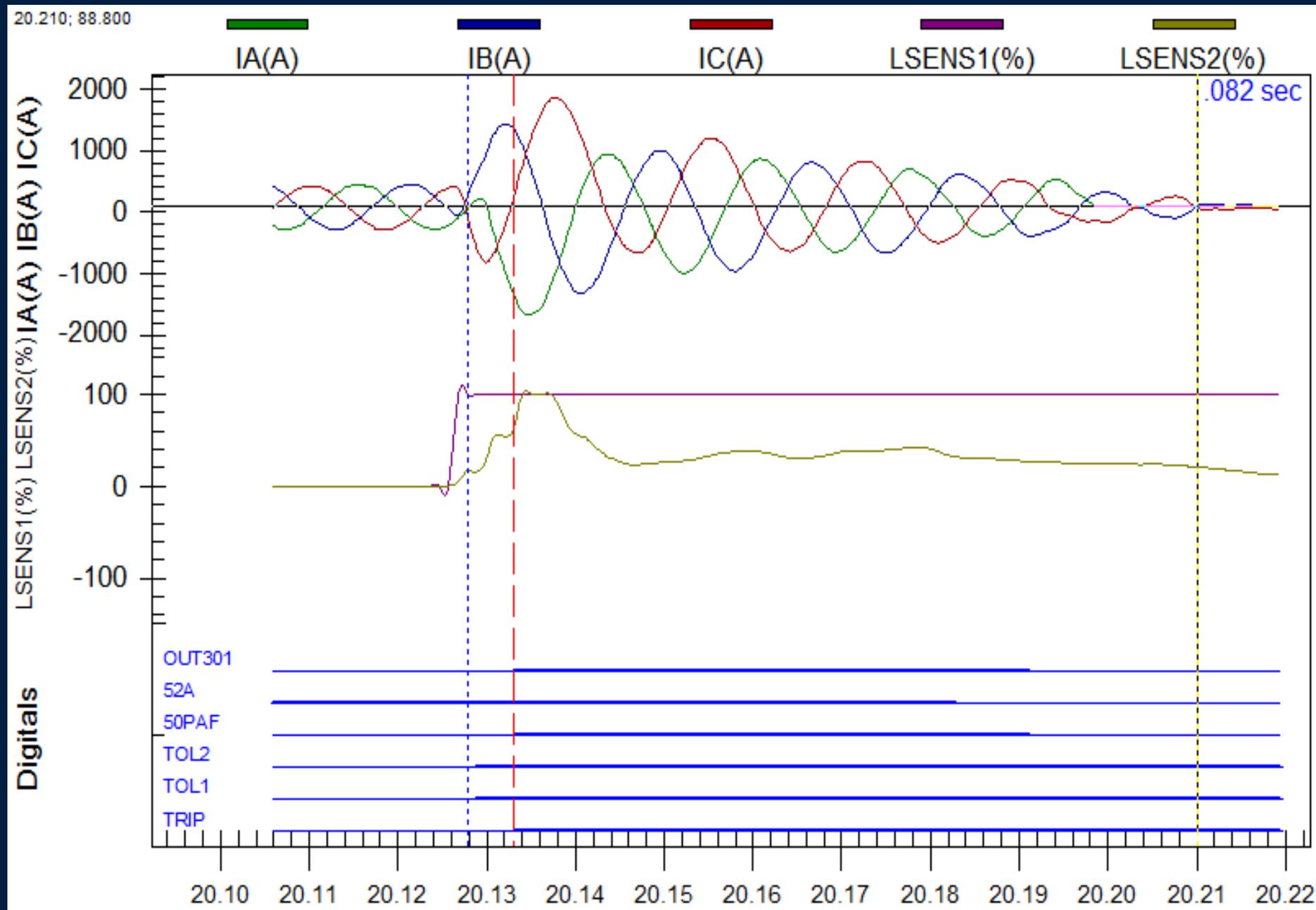
Caso 1



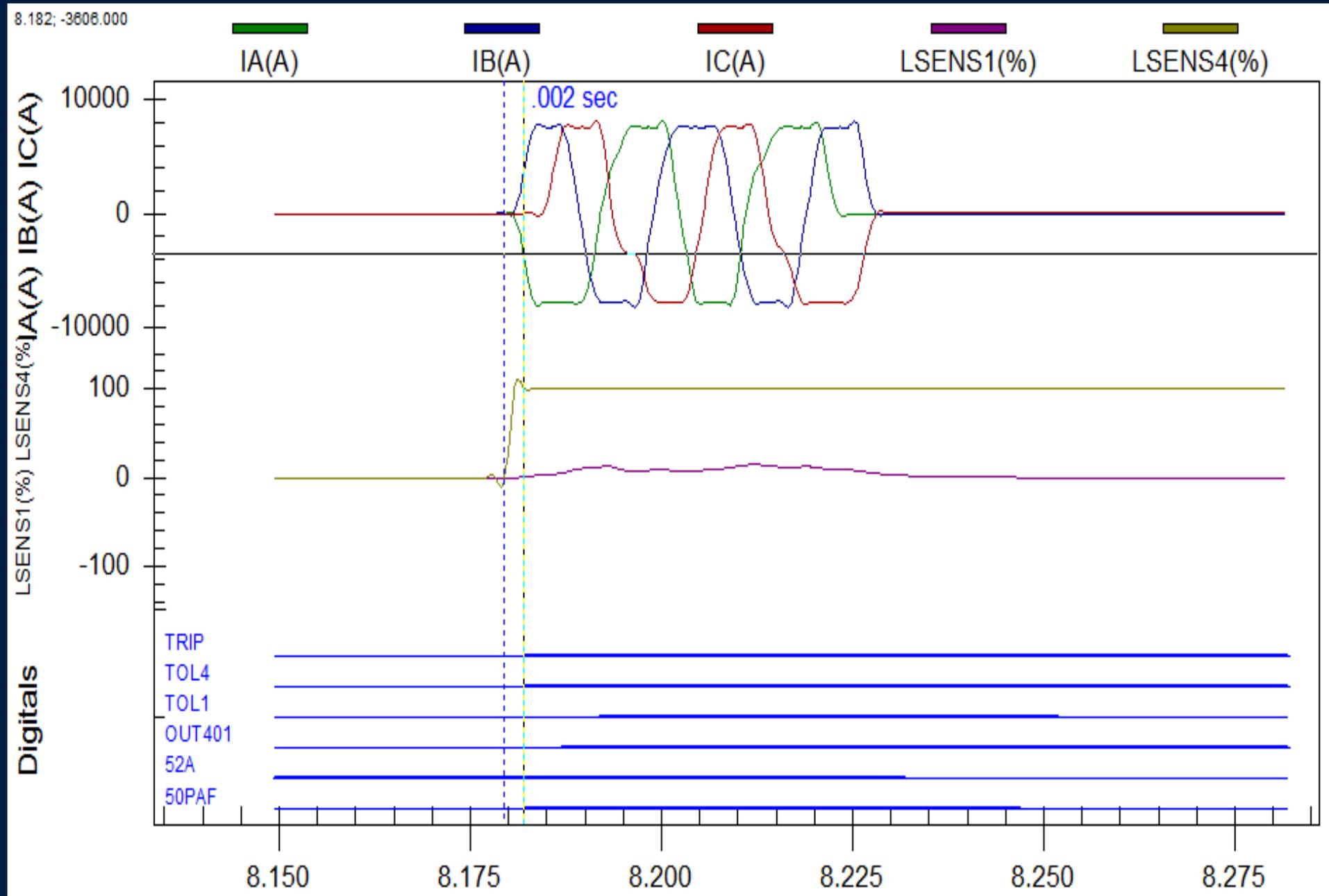
Caso 1



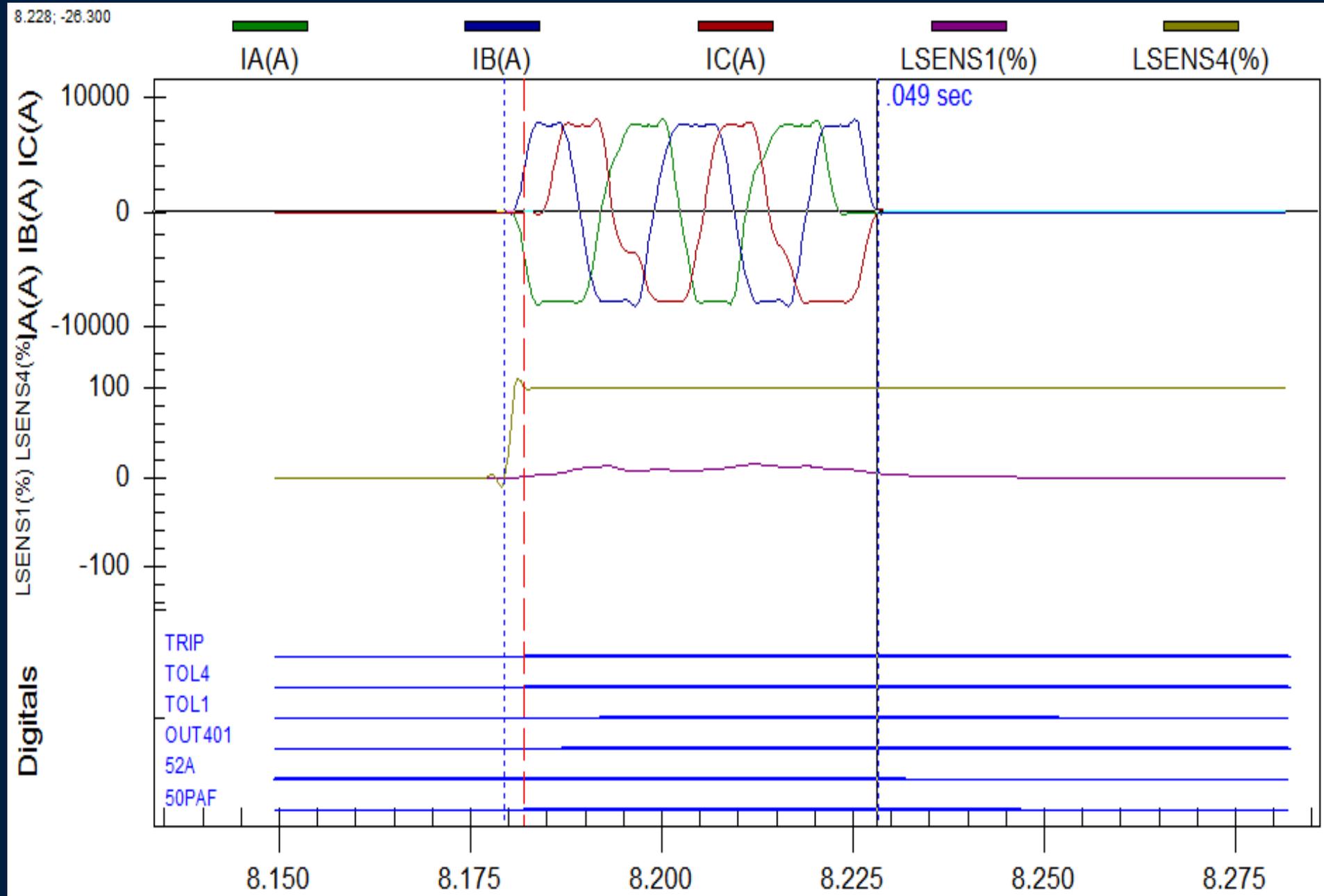
Caso 1



Caso 2



Caso 2



Caso 2



Arc-Flash Point Sensor

Little-to-No Damage
After Event

6.6 kV Switchgear
8,000 A Fault Current



Rat

Comparação – “The \$125,000 Field Mouse”

Com AFD



Sem AFD

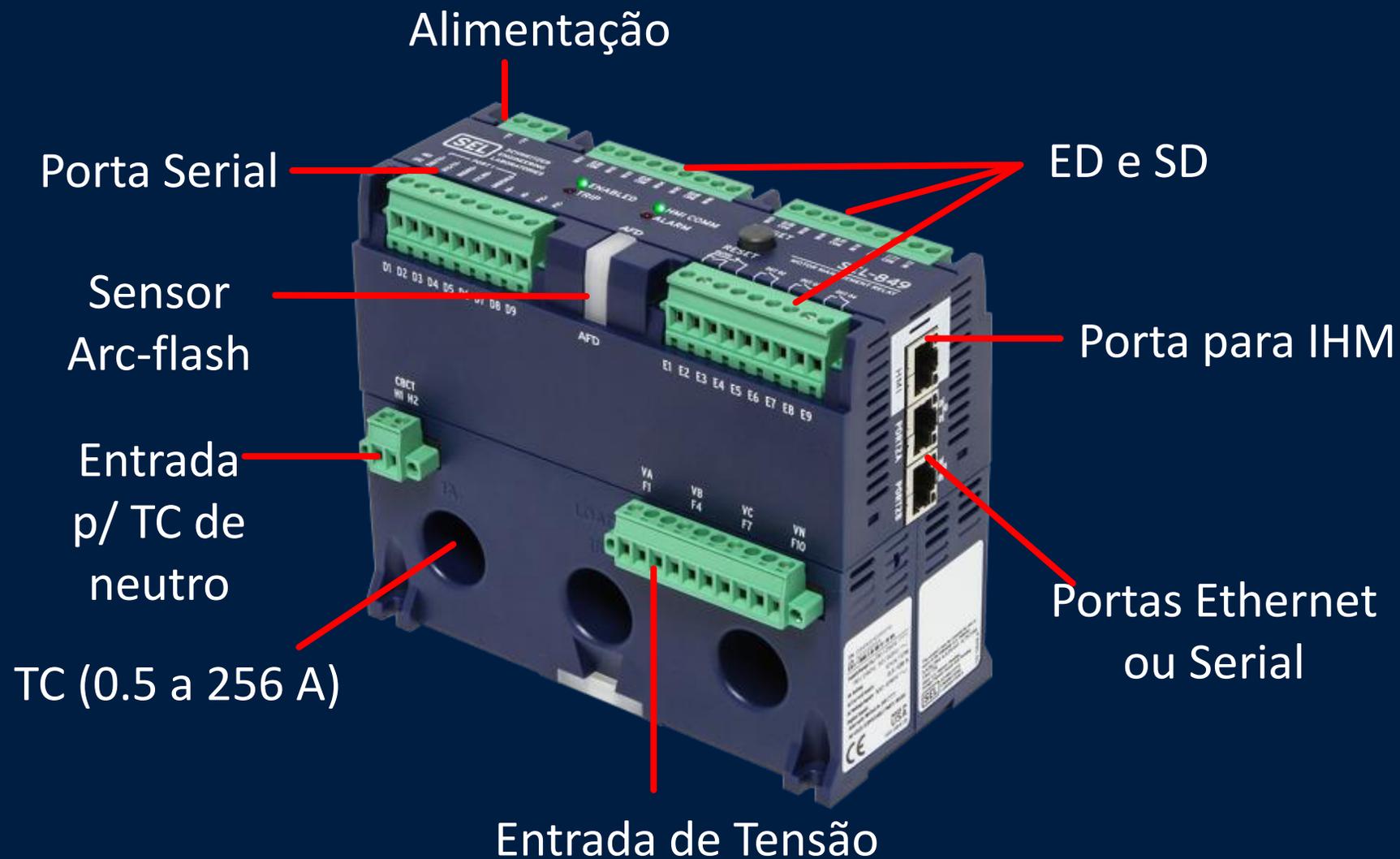


Sensor de Arco Incorporado no Relé de Proteção

- Não é necessário equipamento adicional
- Não é necessário TC adicional ou ligação em série
- Oscilografia, SOE
- Software único
- IEC 61850
- Redução de custos

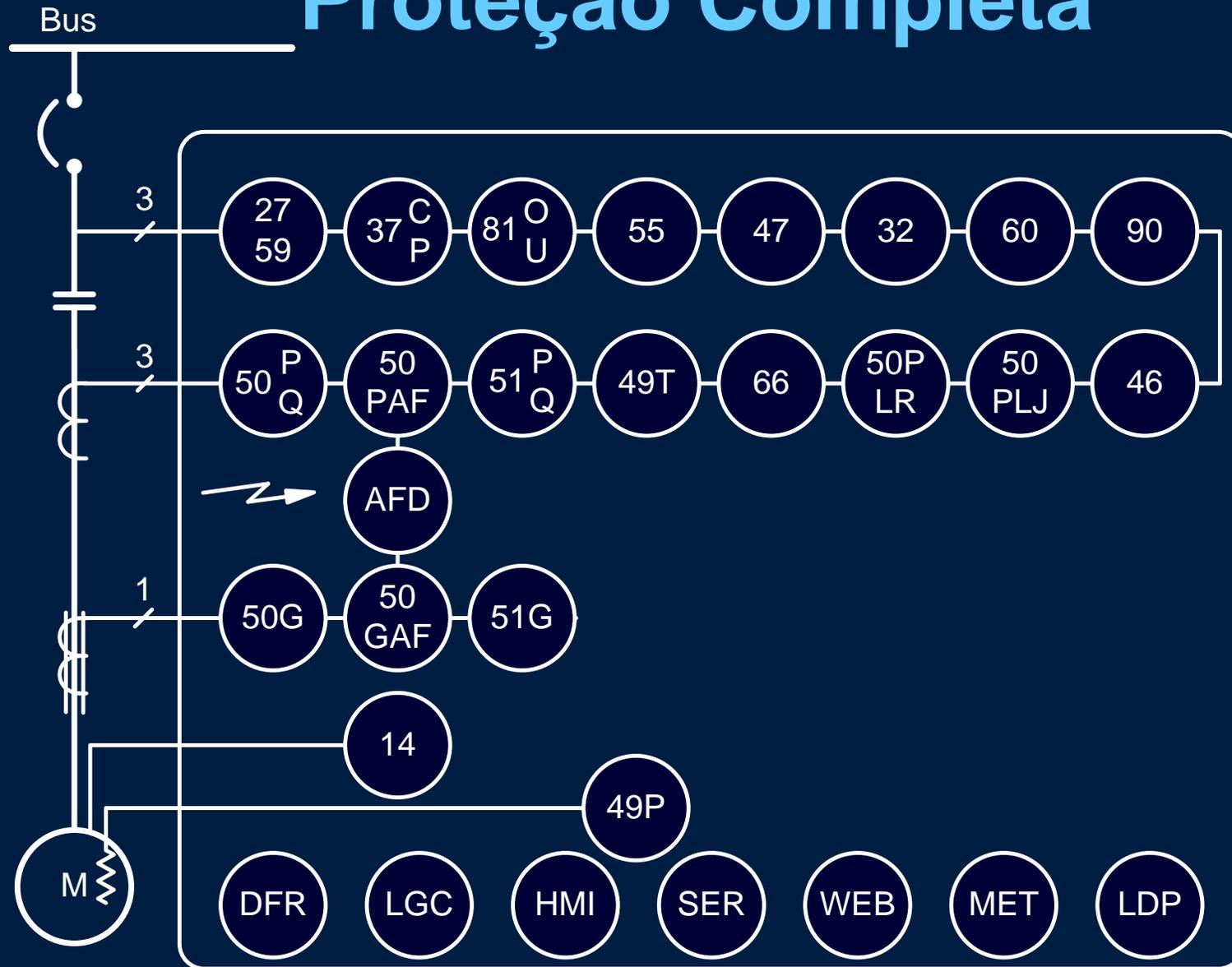
Solução Detecção de Arco para Baixa Tensão

Relé Inteligente SEL-849



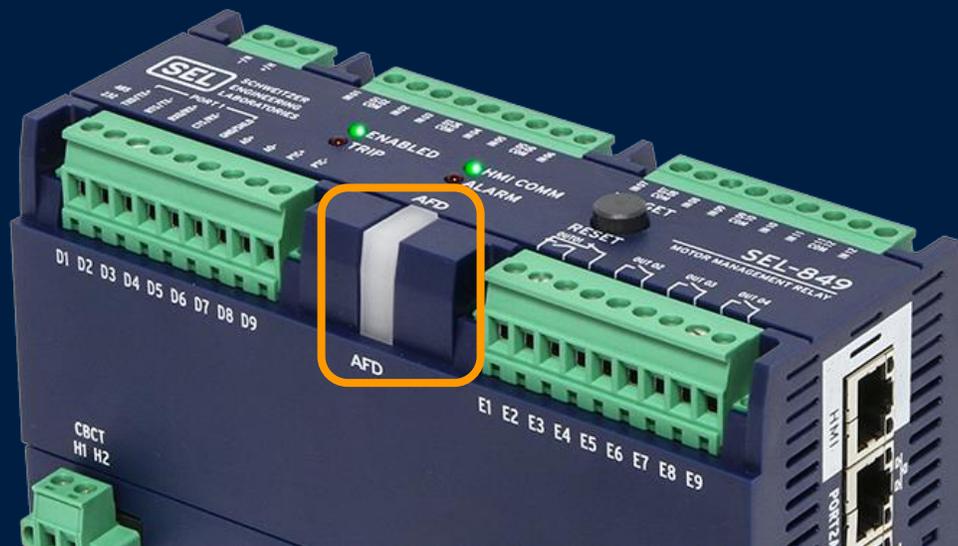
Relé Inteligente SEL-849

Proteção Completa

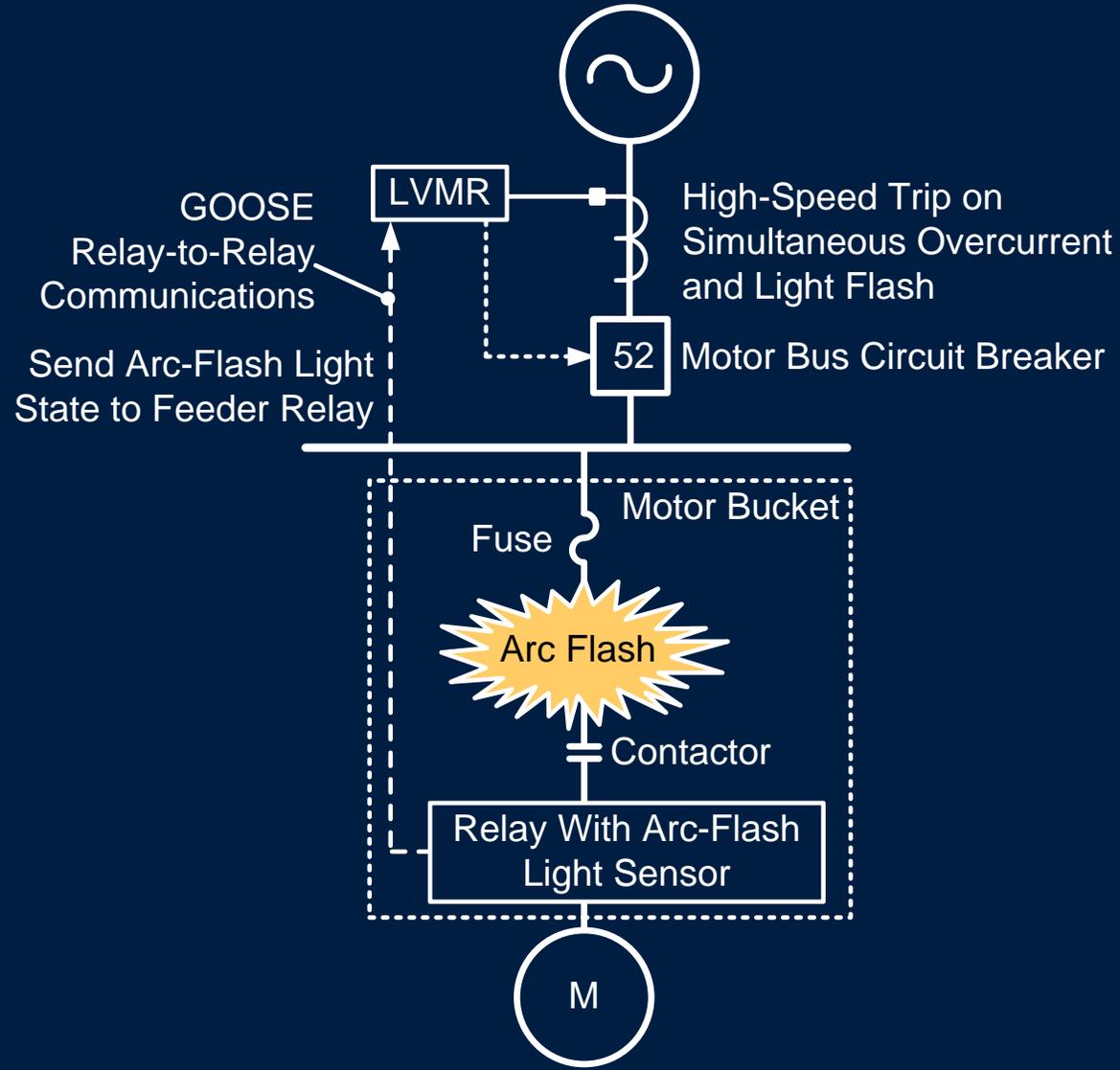


Solução Rápida e Segura

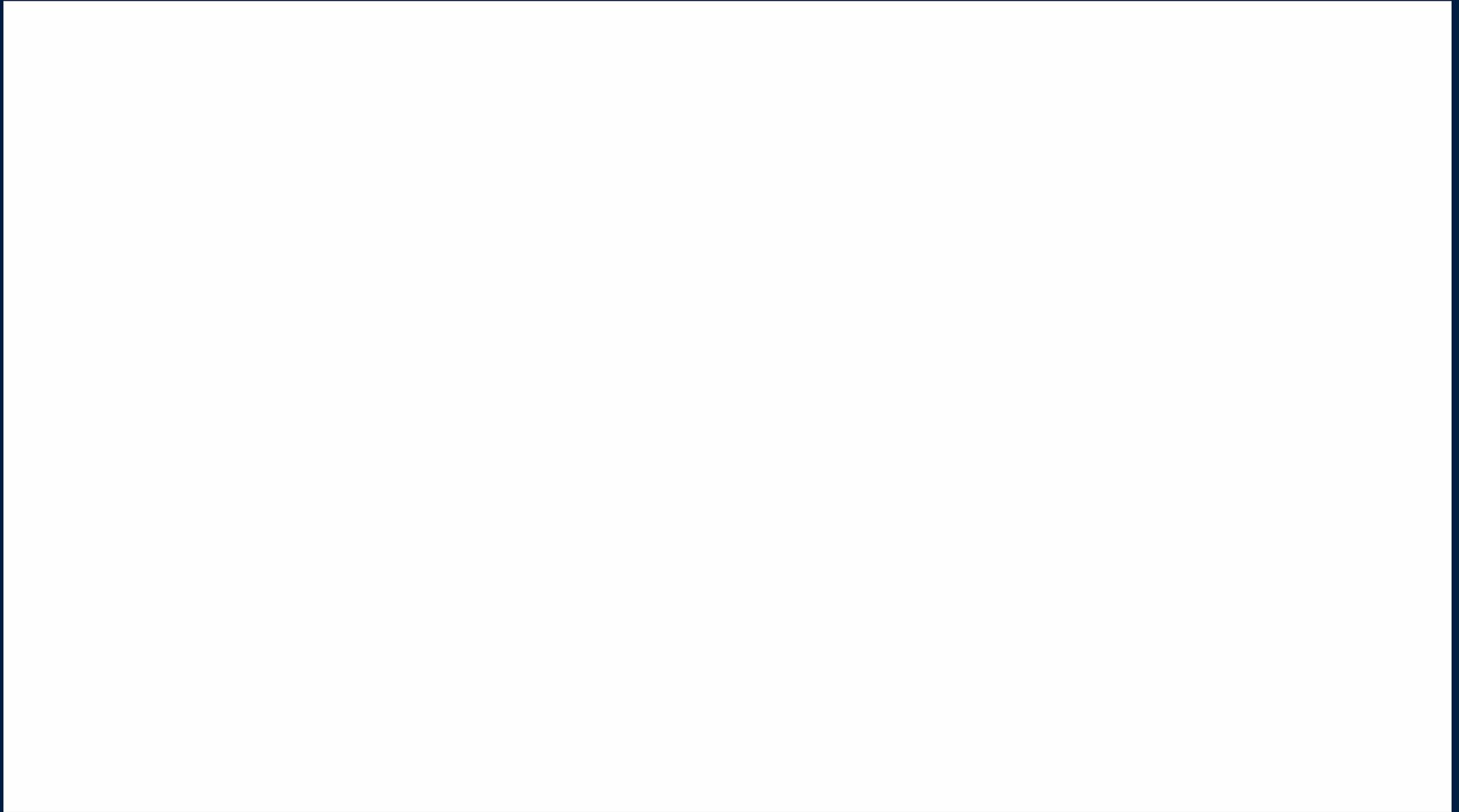
Sensor de Luz na Gaveta do CCM



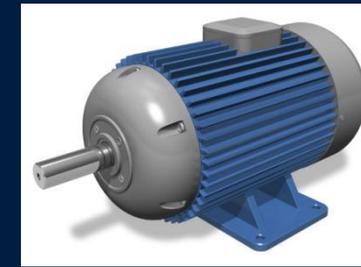
Filosofia de Proteção Contra Arco Elétrico em CCM



Detecção de Arco em CCM



Relés SEL com Sensor de Arco



SEL-710-5
Proteção de
Motor

SEL-751A
Proteção de
Alimentador

SEL-751
Proteção de
Alimentador

SEL-849
Proteção de
Baixa Tensão

Obrigado!

paulo_lima@selinc.com

(19) 3515-2011