



www.cinase.com.br



A evolução da proteção e seletividade em sistemas elétricos industriais

Cláudio S. Mardegan

EngePower Engenharia Com. Ltda
(011) 3579-8777



cinase

I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



- ➔ 1 - Objetivo
- ➔ 2 - Breve histórico
- ➔ 3 - O arco elétrico
- ➔ 4 - Evolução da proteção e seletividade em sistemas elétricos industriais
- ➔ 5 - Conclusões e Recomendações



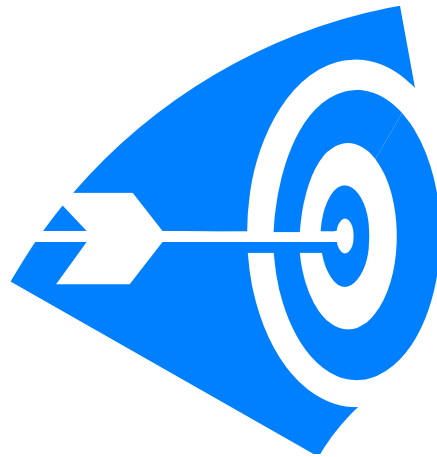
I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



1 - OBJETIVO



O objetivo desta palestra é mostrar um breve resumo histórico da eletricidade e a evolução da proteção, seletividade e segurança, com o tempo. Mostra-se também a ampliação do antigo foco da engenharia de sistemas: inicialmente o foco era na somente na proteção, passando posteriormente a se pensar em seletividade porém, com foco na proteção dos equipamentos, do sistema elétrico e na minimização da perda de produção. Atualmente o foco ficou mais abrangente, além dos citados, foca-se também e principalmente a proteção do ser humano. Assim, mostra-se a importância da integração dos estudos de curto-circuito, seletividade, proteção e arc flash.



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



1879 – Thomas Alva Edison – aperfeiçoou a lâmpada e inventou geradores, comutadores, soquetes e fusíveis, tudo em Corrente Contínua.

1882 – Energizou a 1ª Usina Geradora em CC em NY.

1886 – George Westinghouse e Nicolau Tesla inventam a corrente alternada

Primórdios Sistemas ACs → Sistemas monofásicos

Inicialmente Aterramento Sistema → Não Aterrados

Aumento de potência → Sistemas Trifásicos

Como os sistemas eram não aterrados começaram a surgir as sobretensões transitórias as quais podem chegar de 5 a 8 x V_n , queimando equipamentos.

Surgiu então uma nova corrente que defendeu a bandeira de que os sistemas solidamente aterrados eram melhores.

Evolução → para sistemas aterrados



cinase

I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



A filosofia de aterrar solidamente o sistema rapidamente se propagou e ficou, devido ao fato de que quando de uma falta à terra, desligava-se o sistema (e não queimava os equipamentos) e a falta era rapidamente localizada. Fato que não acontecia com os sistemas não aterrados.

Aumento da potência dos transformadores e das tensões secundárias

(120 → 208V → 220 → 380V → 440V → 460V → 480V)

A partir de 1943 Dalziel inicia publicação de uma série de artigos referentes ao cálculo da corrente de choque.

< 1950 → Foco apenas na proteção. Os primeiros sistemas não eram aterrados e as cargas eram de baixa potência e assim, as tensões de transmissão e distribuição não eram elevadas.

Com o aumento da potência das cargas foi necessário elevar a tensão para transmitir a energia elétrica (cada vez para lugares mais distantes) e rebaixar nos pontos de consumo. Os transformadores de distribuição foram aumentando de tamanho.



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



Somente na década de 50 é que se começou a pensar e executar a seletividade, ou seja, quando de um curto-circuito, procurar desligar-se apenas o dispositivo de proteção imediatamente à montante da falta.

Com o aumento contínuo da potência dos transformadores e da tensão secundária dos transformadores, começaram a surgir as faltas por arco em baixa tensão, as quais mostraram-se altamente destrutivas.

1960 - Kaufmann, R. H. and Page, J. C., escrevem o artigo "Arcing fault protection for low-voltage power distribution systems—nature of the problem," AIEE Transactions Power Apparatus Systems, vol. 79, pp. 169–167, June 1960.

1961 – 1a Edição da norma IEEE Std 80 "IEEE Guide for Safety in AC Substations Grounding". Este Guia possui contribuições valiosas de Dalziel (corrente de choque) e Sverack (Tensões de passo e toque).

Danos devidos às faltas por arco começam a se tornar mais frequentes.

Faltas por arco → IEEE STD 141 (RED BOOK) cria fatores para determinar o valor mínimo provável da corrente de falta por arco.



cinase

I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



EngenPower®

www.cinase.com.br



1977 - Stanback, H. I., publica artigo "Predicting damage from 277-V single phase to ground arcing faults," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-13, no. 4, July/Aug. 1977.

As companhias de seguro americanas estavam pagando elevados valores para repor os painéis de baixa tensão.



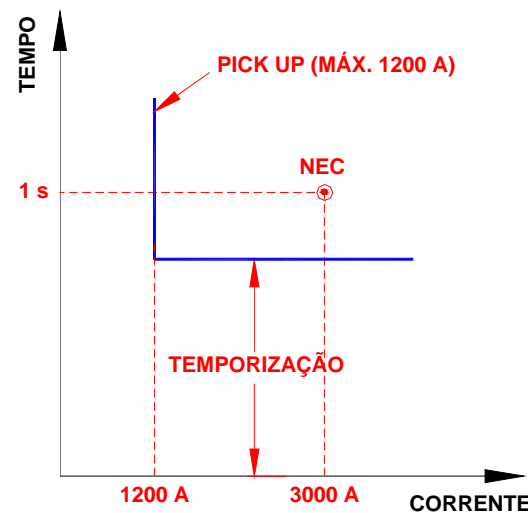
I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



Assim, em 1978, o NEC incluiu a Seção, o 230-95, a qual falava de faltas através de arco em baixa tensão, inserindo a necessidade de proteções específicas de terra em todos os sistemas com mais de 1000 A e com tensão fase-terra acima de 150V. Adicionalmente prescreveu o ajuste máximo a ser implementado nesta proteção.



1979 – Primeira edição da norma NFPA-70E (National Fire Protection Association)
- “Standard for Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces” –
Normas e requisitos de segurança elétrica para os locais de trabalho.



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



1982 – Ralph Lee publica o artigo “The other electrical hazard: electrical arc blast burns,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol 1A-18. no. 3, p. 246, May/June 1982.

1986 - Dunki-Jacobs, J. R., apresenta o artigo “The escalating arcing ground-fault phenomenon,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-22, no. 6, Nov./Dec. 1986.

1987 – Ralph Lee and Dunki-Jacobs, J. R., apresentam o artigo “Pressures developed by arcs,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol 1A-23, pp. 760–764, 1987.

1991 → OSHA (Occupational Safety and Health Administration) inclui práticas seguras em eletricidade e além do choque elétrico, adiciona o risco do arco elétrico.

1995 – Na quinta edição da norma NFPA-70E é incluída, pela primeira vez o conceito de limites de aproximação e arco.



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



1982 – Ralph Lee publica o artigo “The other electrical hazard: electrical arc blast burns,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol 1A-18. no. 3, p. 246, May/June 1982.

1986 - Dunki-Jacobs, J. R., apresenta o artigo “The escalating arcing ground-fault phenomenon,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-22, no. 6, Nov./Dec. 1986.

1987 – Ralph Lee and Dunki-Jacobs, J. R., apresentam o artigo “Pressures developed by arcs,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol 1A-23, pp. 760–764, 1987.

1991 → OSHA (Occupational Safety and Health Administration) inclui práticas seguras em eletricidade e além do choque elétrico, adiciona o risco do arco elétrico.

1995 – Na quinta edição da norma NFPA-70E é incluída, pela primeira vez o conceito de limites de aproximação e arco.



cinase

I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



EngePower®

www.cinase.com.br



2000 – Na sexta edição da norma NFPA-70E inclui-se o conceito de zona limite para proteção de arco e os EPI's (roupas e luvas).

2002 – Publicação da norma IEEE Std 1584 - IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations

2004 – Na sétima edição da norma NFPA-70E inclui-se o método de cálculo do IEEE Std 1584.



cinase

I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



EngePower®

www.cinase.com.br



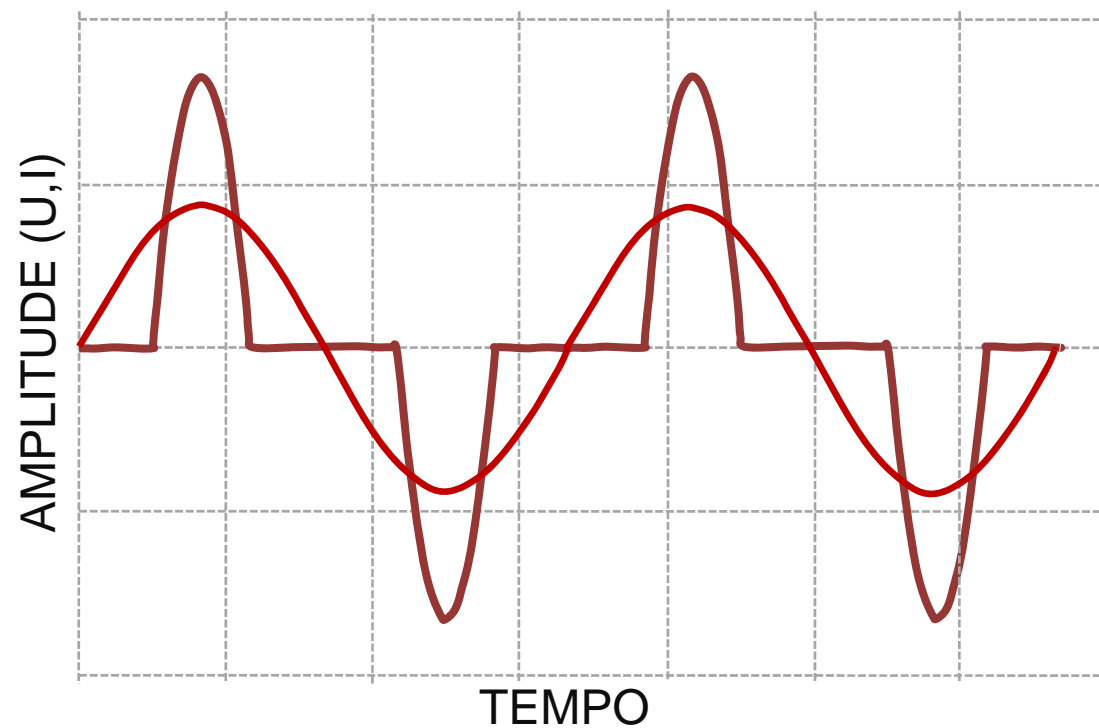
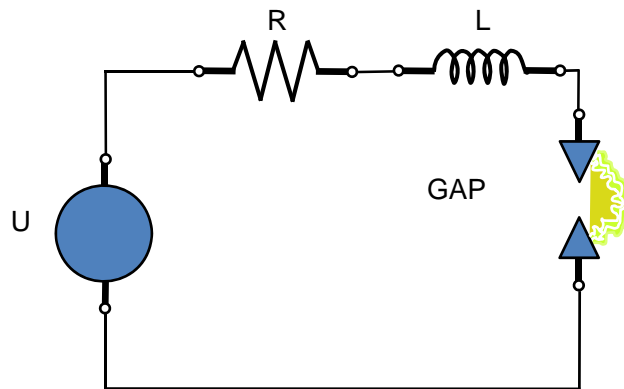
3 - O ARCO ELÉTRICO

Definição

O arco elétrico é uma descarga que pode surgir sempre que houver o rompimento (falha) do dielétrico (isolação) de um ponto em relação à um terra (ou massa) ou entre dois pontos de potenciais diferentes. A interrupção de correntes também provoca arcos.

3 - O ARCO ELÉTRICO

Para entender o arco, considere a figura seguinte, onde os terminais do gap representam os condutores e o ar é o dielétrico:

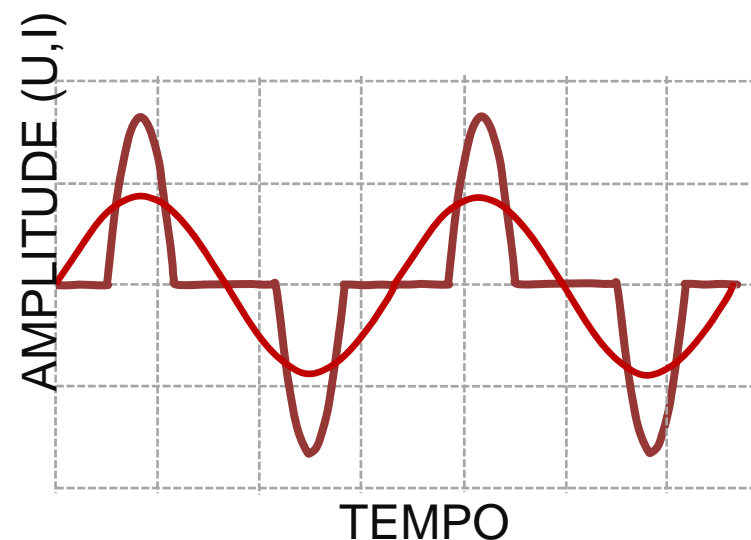


- Curva Vermelha : Tensão
- Curva Azul : Corrente

3 - O ARCO ELÉTRICO

Principais características das faltas por arco são:

- ✓ Correntes intermitentes e descontínuas;
- ✓ As ondas de corrente são não senoidais;
- ✓ A teoria fasorial não aplicável;
- ✓ A cada semi-ciclo apaga e tem uma ignição;
- ✓ Tem características resistivas;
- ✓ O valor da corrente de arco é menor que a do curto-circuito franco (bolted);



- Curva Vermelha : Tensão
- Curva Azul : Corrente

- ✓ No início e no fim do arco a temperatura chega a 4500oC
- ✓ Elevadas temperaturas (10000 a 20000oC– 4x a temperatura superf. sol)



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO

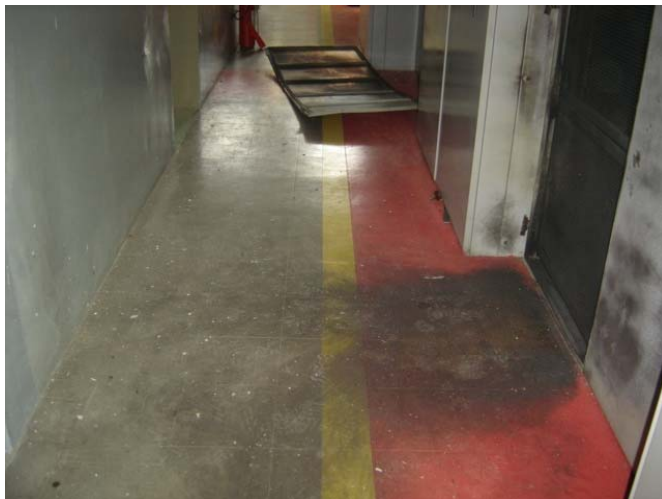
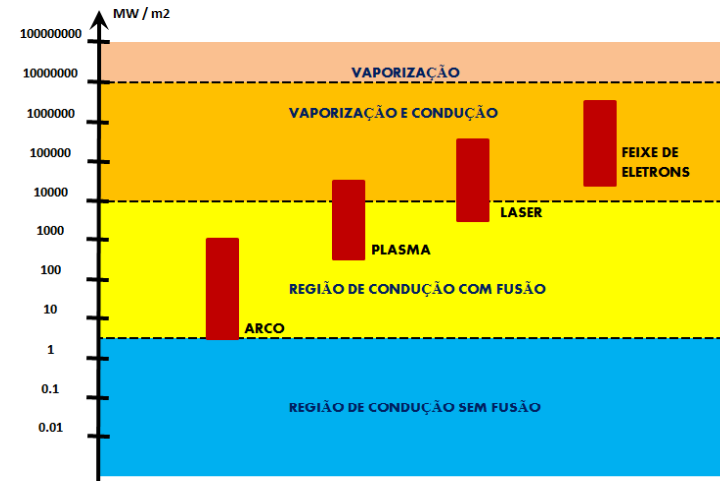


www.cinase.com.br



3 - O ARCO ELÉTRICO

- ✓ Pode atingir o estado de plasma (4o estágio da matéria);
- ✓ Abaixo de 150V praticamente se auto-extingue
- ✓ Em média tensão a tensão de arco atinge de 500 a 1000 V
- ✓ Em painéis a potência máxima instantânea pode chegar a 40MW nos arcos



- ✓ Caminham para a fonte
- ✓ Procuram as pontas (retiram material das pontas, as mesmas ficam arredondadas)
- ✓ A luminosidade do arco pode chegar a 2000 vezes a luminosidade de um escritório
- ✓ Gera elevada pressão internamente aos painéis.

3 - O ARCO ELÉTRICO



- ✓ Podem derreter os componentes internos da gaveta / cubículo;

- ✓ Costumam danificar as gavetas acima da gaveta em falta e toda coluna onde ocorreu a falta, principalmente a gaveta mais alta;

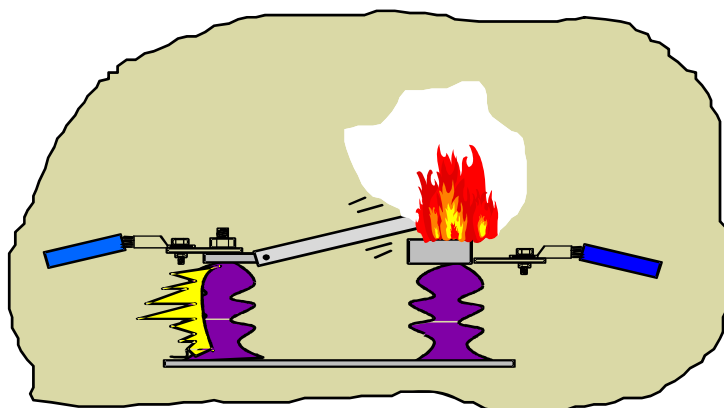
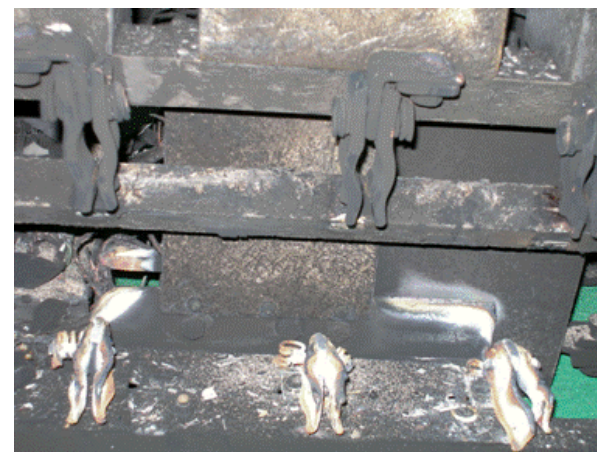
- ✓ Podem danificar várias colunas;



- ✓ Podem queimar cabos em leitos sobre o painel.

3 - O ARCO ELÉTRICO

- ✓ Arcos numa mesma fase (terminais mal encaixados de disjuntores e gavetas extraíveis) não são identificados como falta para os relés de sobrecorrente. Para a proteção é necessário utilizar relé foto sensível;
- ✓ Painéis que não são à prova de arco o mesmo se expande para fora.





I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



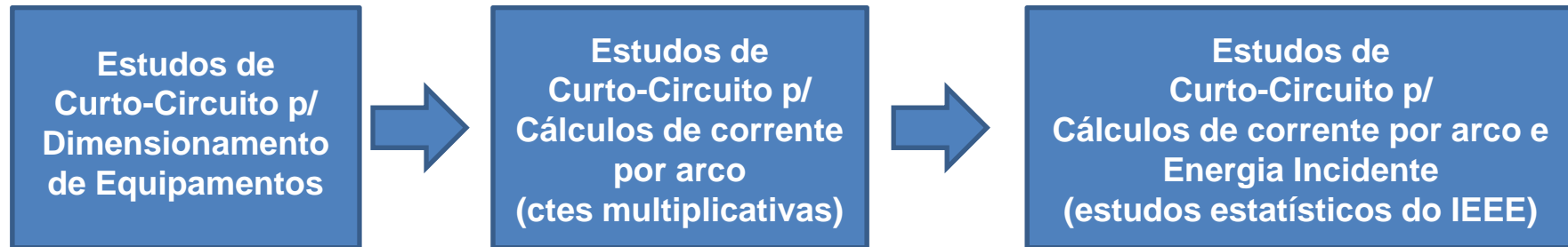
EngePower®

www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

EVOLUÇÃO DO CURTO-CIRCUITO



LINHA DO TEMPO



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

A determinação do valor da corrente de curto-circuito é importante para:

- ✦ Verificação da capacidade térmica e dinâmica de equipamentos (chaves seccionadoras, barramentos, relés, cabos, motores, transformadores e transformadores de corrente)
- ✦ Esforços interrupção (breaking) e fechamento (making) em disjuntores;
- ✦ Verificação da saturação de transformadores de corrente;
- ✦ Determinação de ajustes dos dispositivos de proteção;
- ✦ Cálculo das correntes por arco

Dependendo de sua aplicação deve-se seguir certos procedimentos e/ou normas para a sua determinação (o seu valor pode ser simétrico, assimétrico, rms, de pico, no primeiro $\frac{1}{2}$ ciclo ou num instante de interesse, pode ter ou não contribuição de motores, pode ter diferentes correntes de contribuição de geradores dependendo do período subtransitório ou transitório,).



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



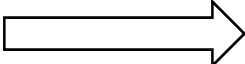
EngePower®

www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

Esforços de Interrupção

Tipo do equipamento  Definição do tipo de curto simulado

Disjuntores { Norma ANSI
Norma IEC

Verificação da capacidade térmica, dinâmica de equipamentos e saturação de TCs

Chaves Seccionadoras (*)
Barramentos (*)
Transformadores de Corrente (*)
Saturação de TCs } Curto-Circuito convencional

(*) Caso a norma esteja definida na placa do equipamento simula-se o curto ANSI ou IEC.



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

Determinação de ajustes dos dispositivos de proteção e Arc Flash

Utiliza-se o Curto-Circuito Convencional.

✦ Trifásico (Arc Flash)

✦ Fase-Terra (IEEE Std 1584 não inclui este tipo de falta)

Além disso, dependendo da temporização a ser dada aos dispositivos de proteção, deve-se atentar para:

✦ Período Subtransitório

Assimétrico RMS – Relés com temporização inferior a 150 ms

✦ Período Transitório

Simétrico RMS – Relés com temporização superior a 150 ms



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

Como mostrado anteriormente a corrente de arco não possui característica não senoidal e a teoria fasorial não se aplica. Assim, o IEEE Std 1584 definiu uma metodologia para o seu cálculo.

Cálculo da Corrente de Arco

Para tensões até 1 kV:

$$I_a = 10^{(K+0,662.\log(I_{bf})+0,0966.V+0.000526.G+0,5588.V.\log(I_{bf})-0,00304G.\log(I_{bf}))}$$

Cálculo da Corrente de Arco

Para tensões acima de 1 kV:

$$I_a = 10^{(0,00402+0,983.\log(I_{bf}))}$$

K = -0.153; open configuration
= -0.097; box configuration

I_{bf} → Corrente de curto – circuito franca [kA]

V → Tensão [kV]

G → Distância entre condutores [mm]

I_a → Corrente de arco [kA]



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



EngPower®

www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

NFPA 70E - Anexo C

(National Fire Protection
Association)
Método Teórico

IEEE 1584 2002

(Institute of Electrical and
Electronics Engineers) –
Método Empírico

Métodos preferidos pela Indústria

O modelo IEEE 1584 foi incorporado pela norma NFPA 70E

Portanto, atualmente a norma NFPA 70E possui duas metodologias de cálculo.

No Método Teórico estima-se a energia incidente baseando-se em um valor teórico máximo, conforme descrito no trabalho de Ralph Lee.

No Método Empírico (IEEE 1584) estima-se a energia incidente a partir de equações desenvolvidas através de análises estatísticas retiradas de inúmeros testes de laboratório.

Com este método chega-se à EPI's de classes menores, com proteção e melhor conforto e desta forma evita excessos na determinação dos EPI's, o que também provoca condições inseguras (desconforto, diminuição da mobilidade, visibilidade).



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

Ralph Lee

O modelo de Ralph Lee baseia-se na máxima energia de arco incidente , conforme equações abaixo.

Unidades Inglesas

$$E_i = \frac{793 \cdot I_{bf} \cdot V \cdot t}{D^2}$$

Unidades Métricas

$$E_i = \frac{2,142 \cdot 10^6 \cdot I_{bf} \cdot V \cdot t}{D^2}$$

E_i → Energia máxima incidente [cal/cm²] ou [J/cm²]

D → Distância de trabalho do ponto do arco elétrico[in] ou [mm]

V → Tensão entre fases do sistema em kV

t → Tempo de duração [s]

I_{bf} → Corrente de curto – circuito [kA] franco (Bolted)



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

IEEE 1584 – Energia Incidente Normalizada

Antes de apresentar as equações do método, é importante citar que, no caso da metodologia do IEEE, o processo de obtenção dos níveis de energia incidente são obtidos através de ensaios com diversos tipos de equipamentos.

Como a variedade e os tipos de equipamentos são muitos, foram escolhidos dois valores padrão para os ensaios:

✓ Tempo de atuação – 0,2 segundos

✓ Distância do operador em relação ao arco elétrico – 610 mm (24")

Com esses dois valores calcula-se a chamada “energia incidente normalizada”, baseada em ensaios e efetuando-se a obtenção da curva de tendência. Como na prática raramente a condição ensaiada corresponde à real, deve-se referir os cálculos à esta nova condição.

Cálculo da Energia Incidente Normalizada

$$E_N = 10^{[K_1 + K_2 + 1,081 \cdot \log(I_a) + 0,0011 \cdot G]}$$

$K_1 = -0.792$; open configuration

$= -0.555$; box configuration

$K_2 = 0$; ungrounded and high resistance grounded systems

$= -0.113$; grounded systems

4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

Cálculo da Energia Incidente Real

$$E = 4,184.C_f.E_N \left(\frac{t}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610}{D} \right)^x$$

D → Distância do arco elétrico[mm]

t → Tempo de duração [s]

E → Energia incidente [J/cm²]

C_f → 1 (>1 kV) e 1.5 (< 1 kV)

Table 4—Factors for equipment and voltage classes^a

System voltage (kV)	Equipment type	Typical gap between conductors (mm)	Distance x factor
0.208–1	Open air	10–40	2.000
	Switchgear	32	1.473
	MCC and panels	25	1.641
	Cable	13	2.000
>1– 5	Open air	102	2.000
	Switchgear	13–102	0.973
	Cable	13	2.000
>5–15	Open air	13–153	2.000
	Switchgear	153	0.973
	Cable	13	2.000

^aThe distance x factor is used in 5.3 as an exponent.



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



Engenheiro®

www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

Uma vez calculada a energia incidente, determina-se as categorias das vestimentas, baseando-se na tabela abaixo:

Table 130.7(C)(11) Protective Clothing Characteristics

Hazard/Risk Category	Typical Protective Clothing Systems	
	Clothing Description (Typical number of clothing layers is given in parentheses)	Required Minimum Arc Rating of PPE [J/cm ² (cal/cm ²)]
0	Non-melting, flammable materials (i.e., untreated cotton, wool, rayon, or silk, or blends of these materials) with a fabric weight at least 4.5 oz/yd ² (1)	N/A
1	FR shirt and FR pants or FR coverall (1)	16.74 (4)
2	Cotton underwear — conventional short sleeve and brief/shorts, plus FR shirt and FR pants (1 or 2)	33.47 (8)
3	Cotton underwear plus FR shirt and FR pants plus FR coverall, or cotton underwear plus two FR coveralls (2 or 3)	104.6 (25)
4	Cotton underwear plus FR shirt and FR pants plus multilayer flash suit (3 or more)	167.36 (40)

Note: Arc rating is defined in Article 100 and can be either ATPV or E_{BT}. ATPV is defined in ASTM F 1959-99 as the incident energy on a fabric or material that results in sufficient heat transfer through the fabric or material to cause the onset of a second-degree burn based on the Stoll curve. E_{BT} is defined in ASTM F 1959-99 as the average of the five highest incident energy exposure values below the Stoll curve where the specimens do not exhibit breakopen. E_{BT} is reported when ATPV cannot be measured due to FR fabric breakopen.



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO




EngePower®

www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

Após a definição de todos os parâmetros definidos anteriormente, podem ser elaboradas placas de advertência para serem fixadas nos painéis:

 ATENÇÃO	
Perigo de Arco e Choque Elétrico	
Utilizar EPI Adequado	
2509 mm	Região de Risco
82 J/cm²	Risco de Arco em 457 mm
Categoria 3	Cuecas de Algodão + Camisa e Calças Antichamas + Macacão Antichamas
440 VAC	Perigo de Choque sem a Cobertura
00	Classe da Luva
1067 mm	Aproximação Limitada
305 mm	Aproximação Restrita
25 mm	Aproximação Proibida
Barra: 001 Prot: 52BT-1	



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



EngePower®

www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

EVOLUÇÃO DOS RELÉS



RELÉ ELETROME CÂNICO



RELÉ ESTÁTICO



RELÉ NUMÉRICO DIGITAL



IED



LINHA DO TEMPO



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO

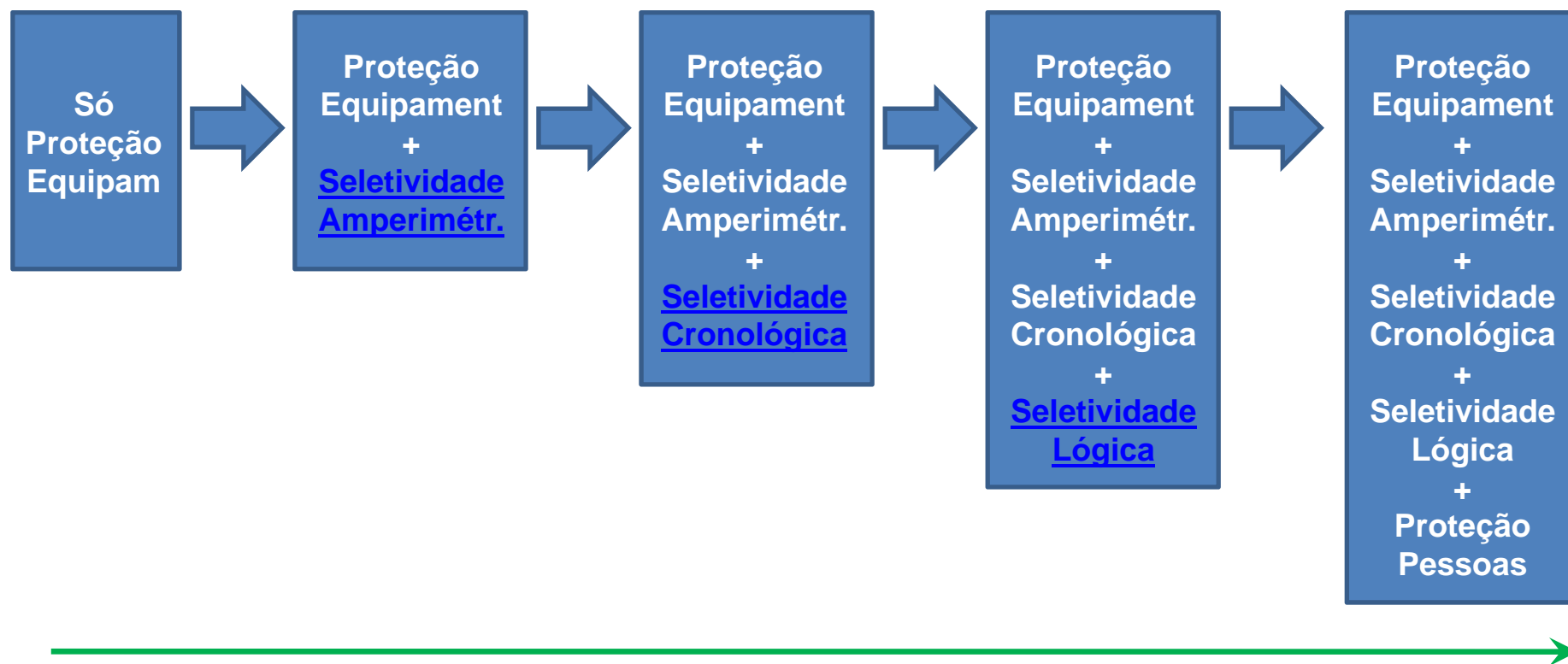


www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

EVOLUÇÃO DA SELETIVIDADE

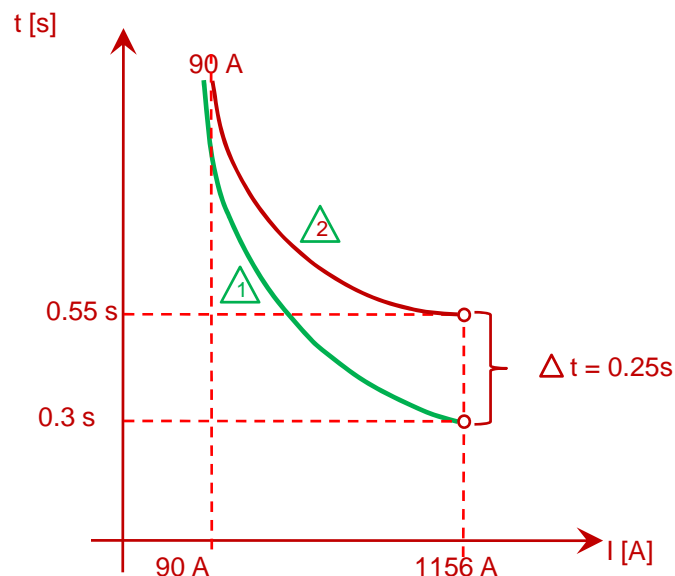
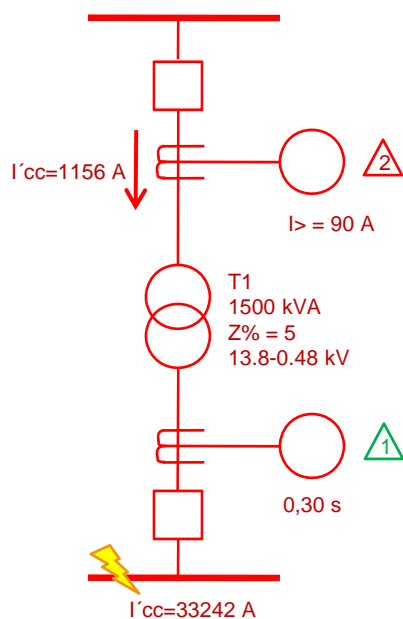


LINHA DO TEMPO

4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

SELETIVIDADE CRONOLÓGICA

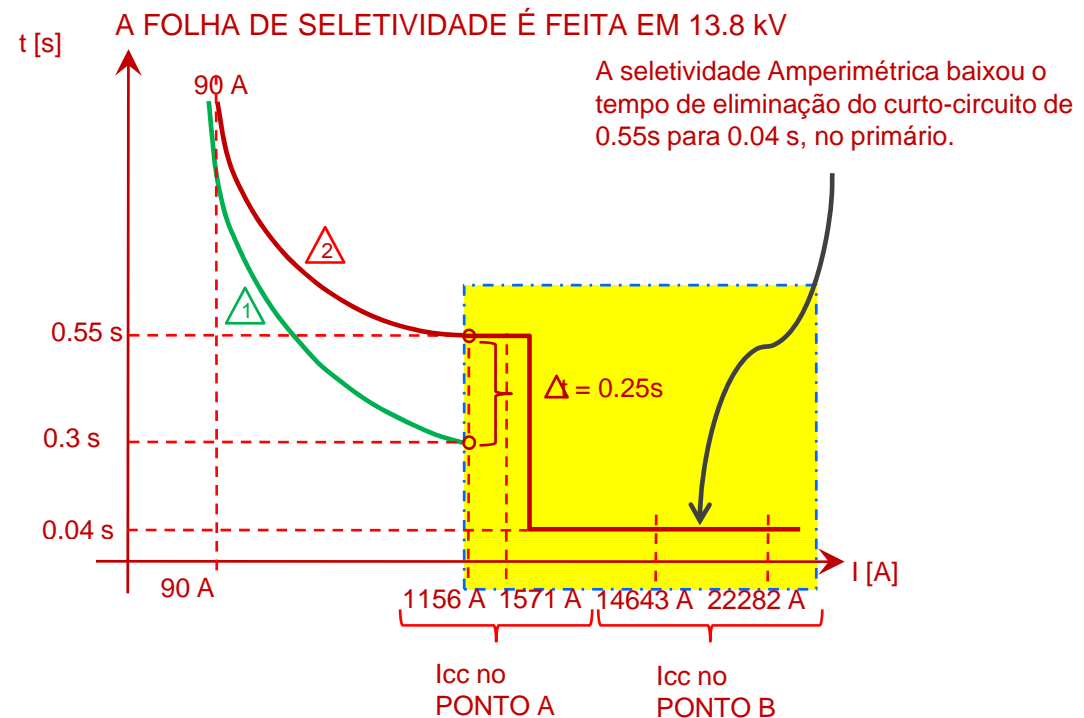
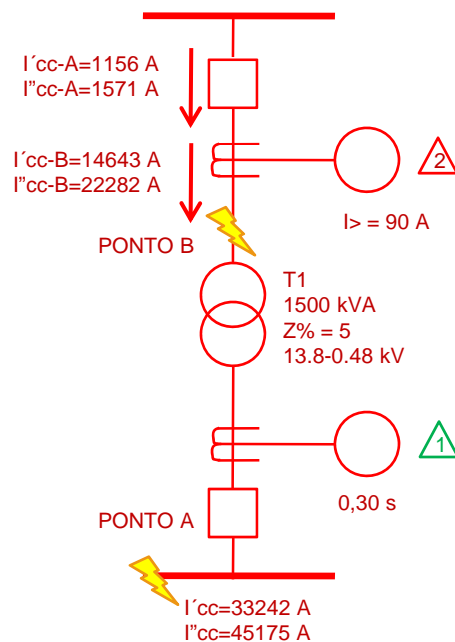
A Seletividade Cronológica é aquela realizada aplicando intervalos de tempo (ou de coordenação) entre os dispositivos de proteção a jusante e a montante, que garantam que os mesmos irão operar de forma seletiva e coordenada.



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

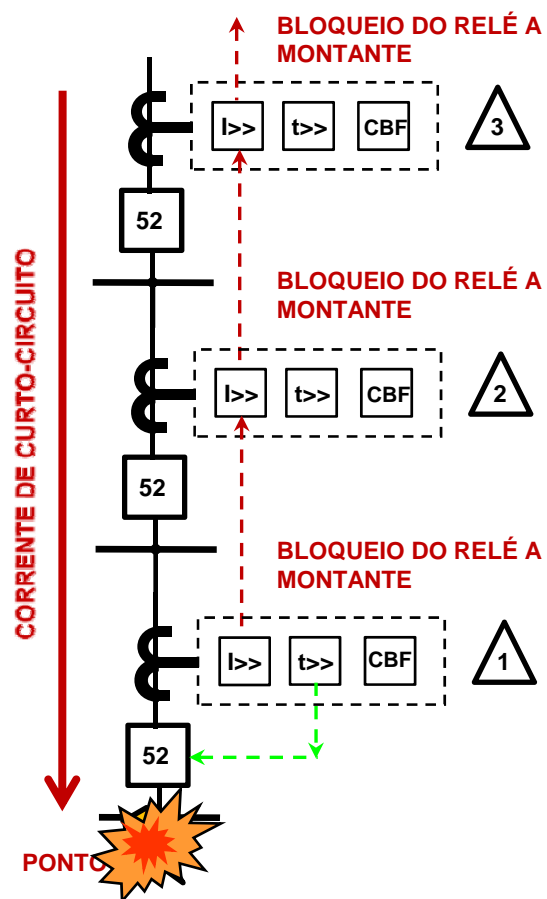
SELETIVIDADE AMPERIMÉTRICA

A Seletividade Amperimétrica é aquela que é utilizada quando existe uma impedância muito grande entre os pontos em que se está fazendo a seletividade ($I_{cc}\text{-Ponto B} \gg I_{cc}\text{-Ponto A}$), de forma que cada dispositivo enxerga valores de corrente de falta bem distintos onde estão instalados. Se enquadram neste caso os relés instantâneos instalados no primário de transformadores.



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

SELETIVIDADE LÓGICA – ATUAÇÃO DO RELÉ DE PRIMEIRO NÍVEL





I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



EngePower®

www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

EVOLUÇÃO DOS REDUTORES DE MEDIDA



LINHA DO TEMPO



I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



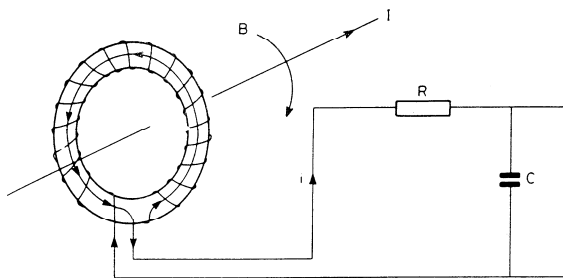
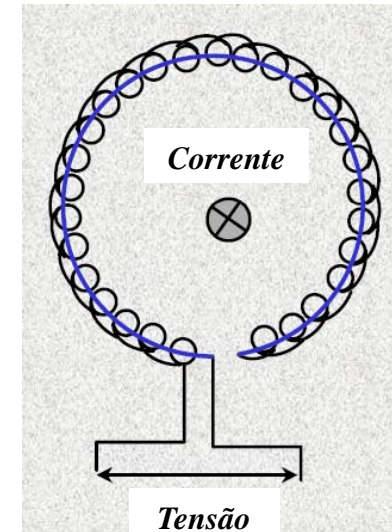
www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

TCs versus Bobinas de Rogowski

A bobina de Rogowski é um equipamento utilizado como redutor de medida que não possui núcleo de material ferromagnético, e transduz a corrente primária numa tensão secundária que é proporcional à taxa de variação dessa corrente no tempo e, desta forma, normalmente apresenta menor custo e maior precisão devido à não saturação. Assim, para se transformar em corrente secundária, esta tensão secundária necessita ser integrada.



Assim, para se transformar em corrente secundária, esta tensão secundária necessita ser integrada. Para integrar o valor da tensão secundária emprega-se um capacitor no secundário. Com esta simplicidade o seu uso tem sido muito difundido nos últimos anos, principalmente na Europa.

Por não possuir núcleo magnético sua resposta em frequência é muito melhor que a dos transformadores.

4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

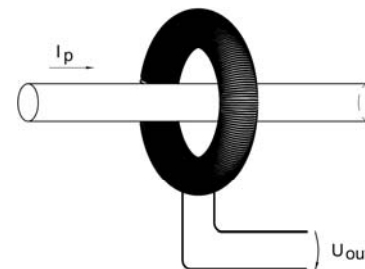
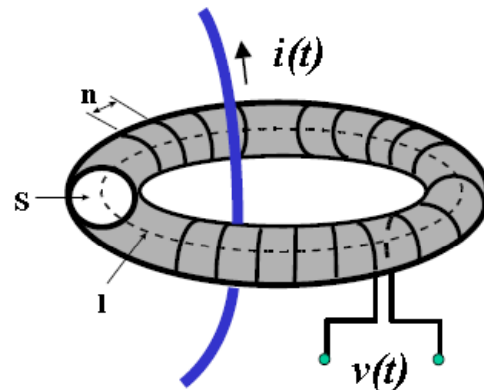
PRINCIPIO DE OPERAÇÃO

O princípio de funcionamento da bobina de Rogowski pode ser explicado tomando-se como referência a figura 4.3.3. Ao circular uma corrente $i(t)$ no núcleo da bobina, gera-se uma tensão $u(t)$, a qual é expressa pelas equações:

$$u(t) = -\mu_0 \times n \times S \times \frac{di(t)}{dt}$$

$$u(t) = -M \times \frac{di(t)}{dt}$$

$$u(t) = -\frac{M}{RC} \times i(t)$$





I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

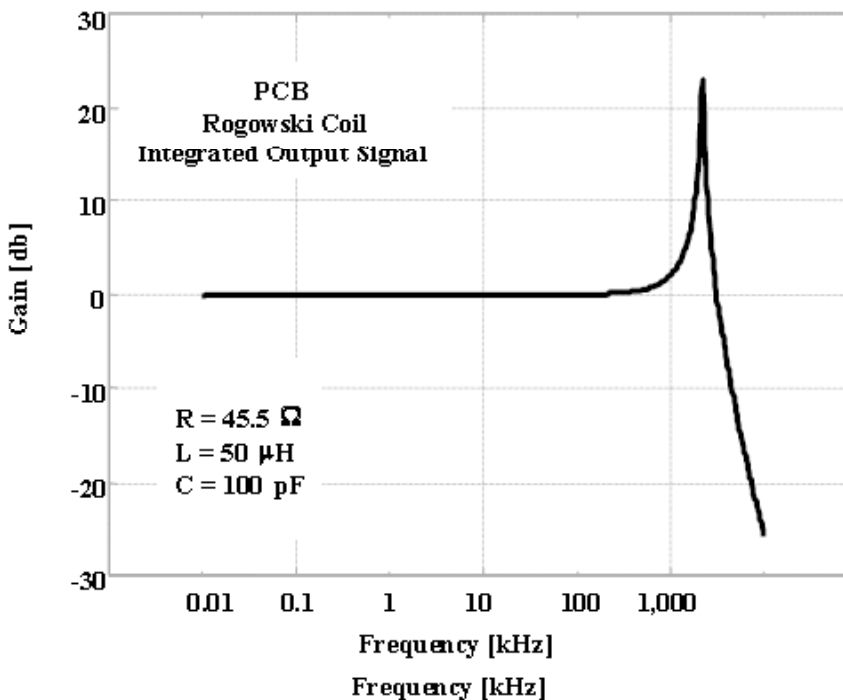
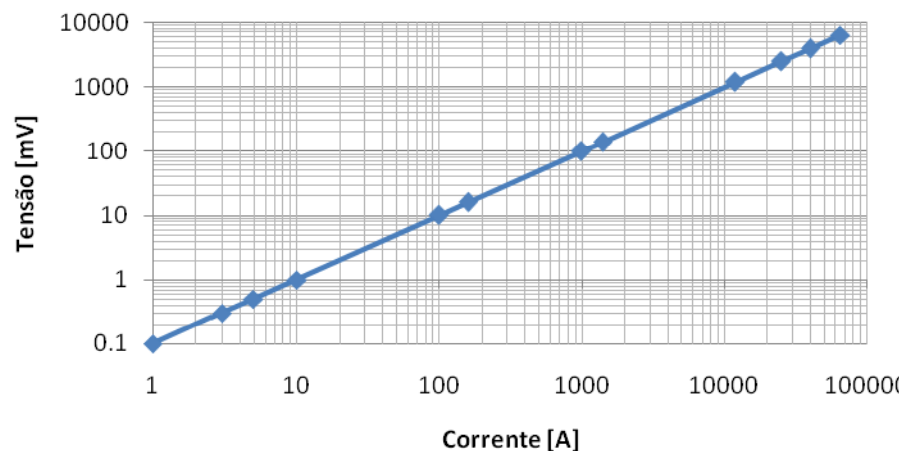
PRINCIPAIS VANTAGENS

As principais vantagens das bobinas de Rogowski são:

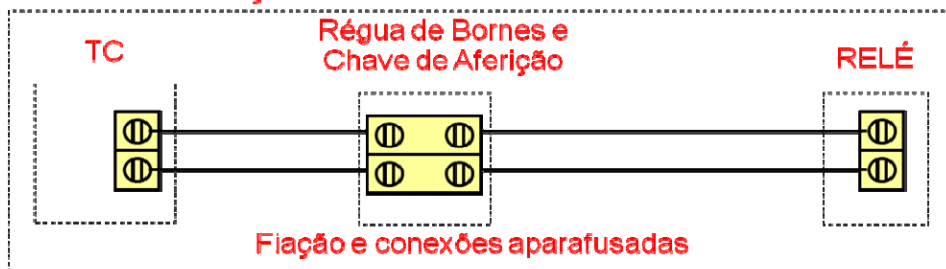
- ✦ Linearidade (entre 1 e 100000 A) – Vide figura 4.3.4
- ✦ Resposta em frequência (entre aproximadamente 40Hz e 100 kHz). Figura 4.3.5.
- ✦ Precisão da medição alcança 0.1%
- ✦ Ampla faixa de medição
- ✦ Suportabilidade térmica ao curto-circuito ilimitada para a construção do tipo janela.
- ✦ Promover a isolação galvânica entre os condutores primários e secundários
- ✦ Pode ser encapsulada em colocada próxima a buchas e cabos evitando a necessidade de isolações elevadas
- ✦ O tamanho pode ser customizado para as aplicações
- ✦ Para instalação em sistemas existentes pode ser construída com núcleo bipartido.
- ✦ Permite a abertura do circuito secundário sem riscos
- ✦ Reduz risco às pessoas e à instalação
- ✦ Livre de ferroressonância
- ✦ Sem risco de explosão
- ✦ Não necessita de fusíveis
- ✦ Menor tempo de montagem e facilidade de instalação. Vide figura 4.36 [80].
- ✦ Flexibilidade de ajuste em IEDs com o Fator de Calibração [80]. Ver item (e).

4 – EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

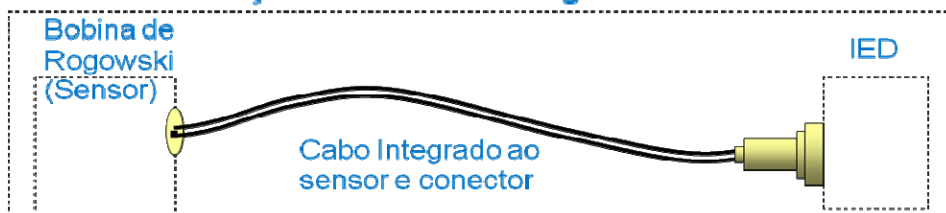
Linearidade das Bobinas de Rogowski



Solução Convencional com TC e Relé



Solução com Bobina de Rogowski e IED





I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



www.cinase.com.br



5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- 1 – Para ser um especialista é importante manter-se atualizado.
- 2 – Existem muitas empresas que realizam estudos de proteção e seletividade, entretanto apenas algumas estão realmente preparadas para levar em conta todas as informações aqui delineadas e lembrem-se: “O TEMPO É FUNDAMENTAL para a PROTEÇÃO do sistema elétrico e PRINCIPALMENTE das PESSOAS.
- 3 – Existem técnicas para otimizar os tempos de proteção. Na apresentação feita no mini-curso do Seminário do IEEE ESW Brasil realizado em Santa Catarina em setembro de 2009 foram apresentadas algumas dessas técnicas. Baixem esta apresentação do site www.engepower.com.
- 4 – Infelizmente, a maioria das vezes, você somente vai saber que contratou um estudo errado depois que o sinistro já ocorreu e promoveu todas as ordens de danos possíveis ao sistema e às pessoas. PENSE ANTES DE CONTRATAR, a proteção está intimamente ligada à confiabilidade de seu sistema e MTTR depende e muito dos tempos envolvidos na seletividade.
- 5 – Atualmente já existem relés de arco foto-sensíveis que podem atuar em tempos da ordem 2.5 ms para saídas digitais e 15 ms para saídas a relés. Esses relés evitam que uma falta por arco progrida e não se transforme em faltas bifásicas, trifásicas e múltiplas.



cinase

I Circuito
NACIONAL
do Setor
ELÉTRICO



Engenheiro®

www.cinase.com.br



Obrigado!

Cláudio S. Mardegan

claudio.mardegan@engepower.com

www.engepower.com