

Aplicação de dois esquemas de proteção conjugados em linhas de distribuição com cargas conectadas em derivação – ID 4409

Autores: *Alexandre Sales Braz; Wallace Augusto Reis*
Coautor: *Sérgio dos Anjos Rosa*

Empresa: *CEMIG Distribuição S/A*

Realization:

instituto
abradee



Host Company:

CEMIG



XXV Seminário
Nacional de
Distribuição de
Energia Elétrica

SENDI
2025
BELO HORIZONTE

Estudo de Caso na LD 1 BETIM 2 – BETIM 6 138KV com Proteção Diferencial de Linha (87L) e Teleproteção (*Esquema POTT e Comparação Direcional*)

Realization:

instituto
abradee



Host Company:

CEMIG

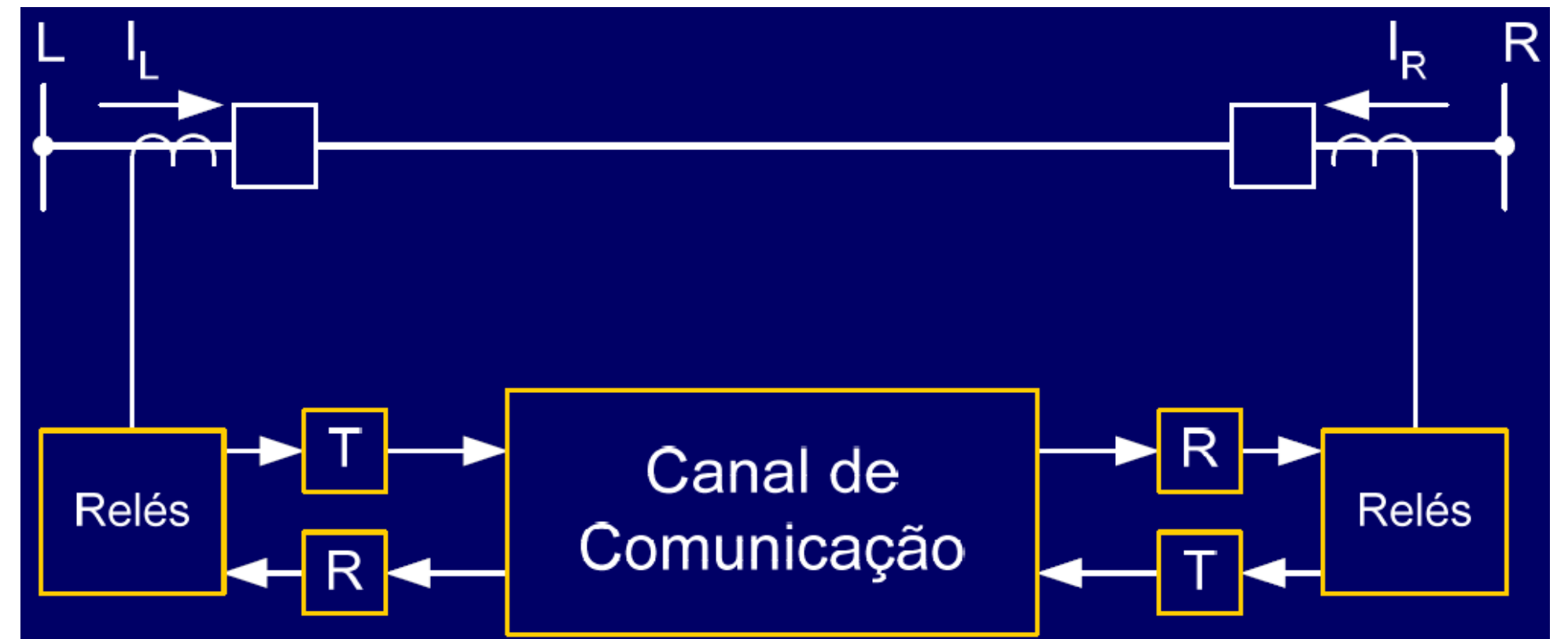
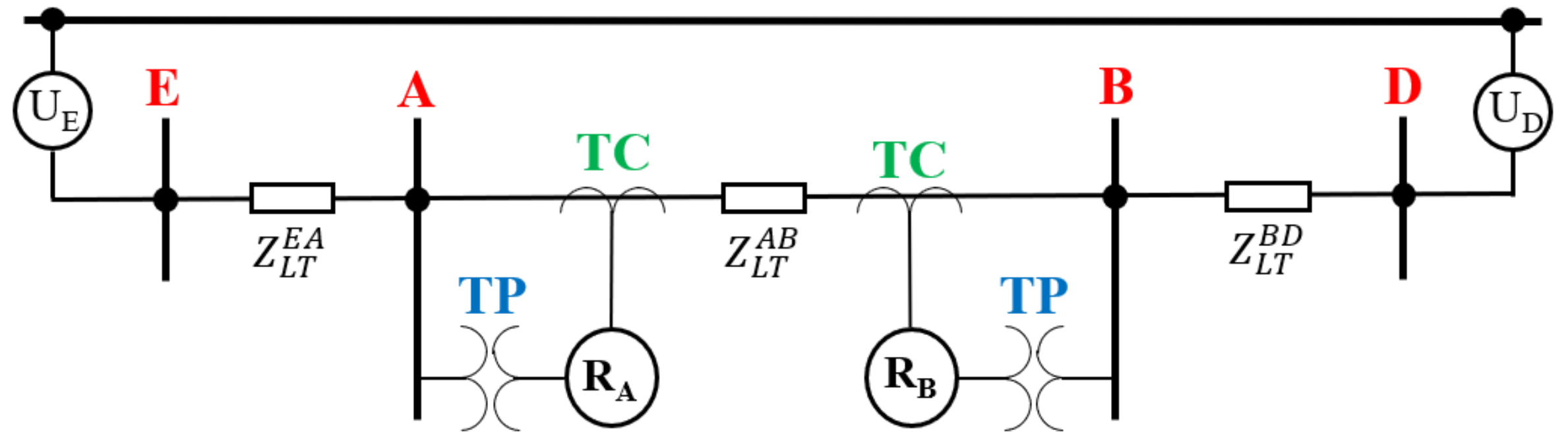


XXV Seminário
Nacional de
Distribuição de
Energia Elétrica

SENDI
2025
BELO HORIZONTE

SISTEMAS DE PROTEÇÃO EM LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO

- ✓ Sobrecorrente (51)
- ✓ Direcional (67)
- ✓ Distância (21)
- ✓ Teleproteção – POTT
- ✓ Teleproteção – 87L



Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG

PROTEÇÃO PARA LINHAS CURTAS

- Linhas eletricamente curtas em anel exigem esquemas de teleproteção para se evitar descoordenações entre as proteções, o que provoca o desligamento de cargas que não deveriam ser desligadas. (*Seletividade e velocidade*)
- Na Cemig Distribuição são aplicados dois esquemas de teleproteção:
- **Esquema POTT (Permissive Overreaching Transfer Trip)**
 - Utiliza relés de distância (21)
 - Não exige relés de mesmo modelo.
- **Esquema 87L (Diferencial de linha)**
 - Utiliza relés diferenciais (87L)
 - Exige relés de mesmo modelo.

As linhas de transmissão podem ser consideradas eletricamente curtas, longas ou médias com base no SIR (*Source Impedance Ratio*):

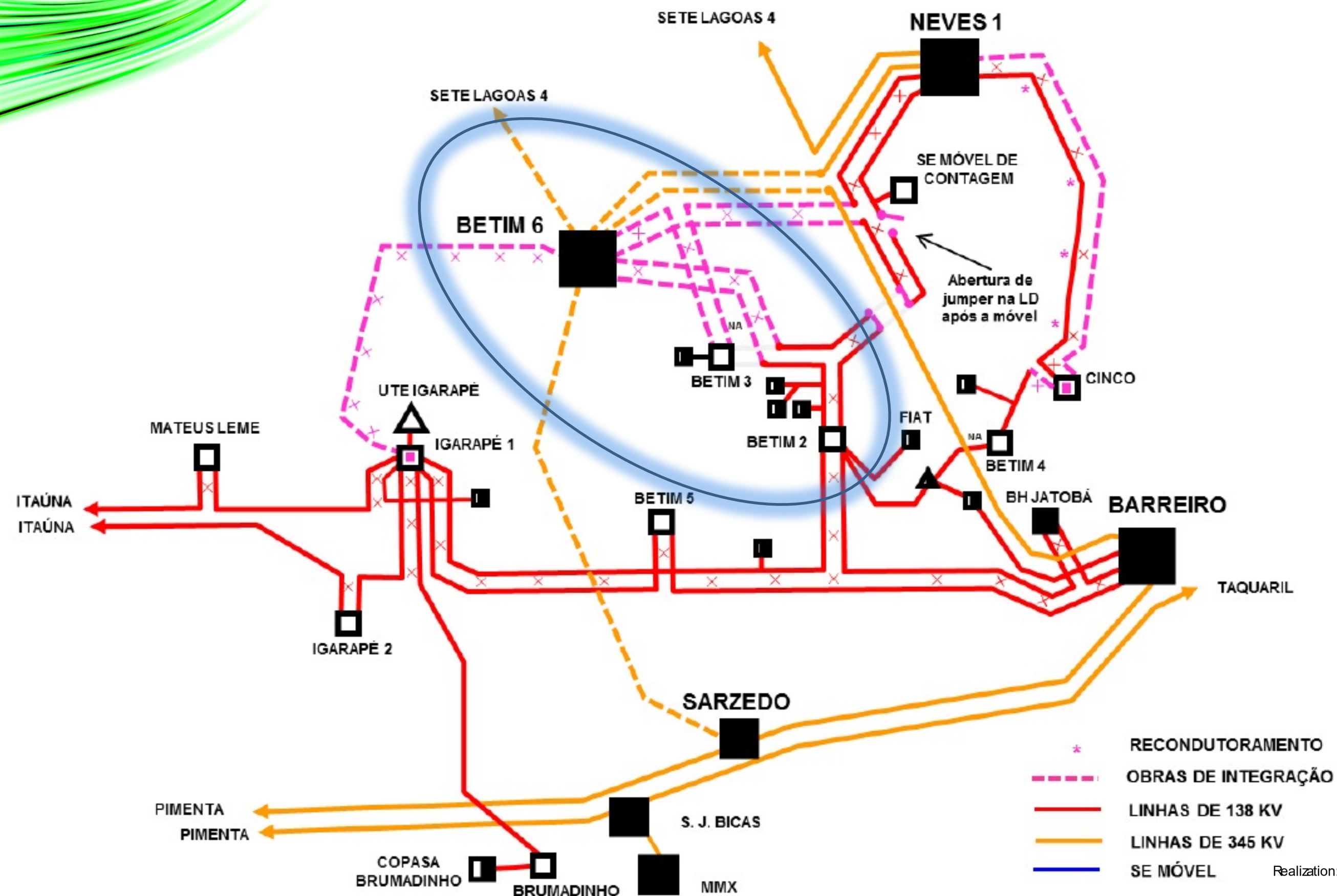
$$SIR = \frac{Z_S}{Z_L}, \text{ onde } \begin{cases} Z_S = \text{Impedância do equivalente do SEP} \\ Z_L = \text{Impedância da linha avaliada} \end{cases}$$

$SIR < 0,5 \rightarrow$ Linha longa

$0,5 \leq SIR \leq 4,0 \rightarrow$ Linha média

$SIR > 4,0 \rightarrow$ Linha curta

Estudo de Caso na LD 1 BETIM 2 – BETIM 6 138KV



Realization:

HostCompany:

OBJETIVO E PROBLEMÁTICAS

Garantir proteção seletiva, confiável e rápida em Linhas de Distribuição que tenham cargas conectadas em derivação (*tape*) na Linha.

1. Qual é o menor valor possível de ajustes do *pick-up* da unidade diferencial 87L?
2. A Zona 1 pode ser sensibilizada pela corrente de *inrush* dos trafos dos clientes conectados em tape linha?
3. Alguma zona de distância pode ser sensibilizada em caso de faltas na planta interna dos clientes conectados em tape na linha?
4. O que é possível fazer para aumentar a sensibilidade para faltas à terra com alta impedância?

Realization:

instituto
abradee

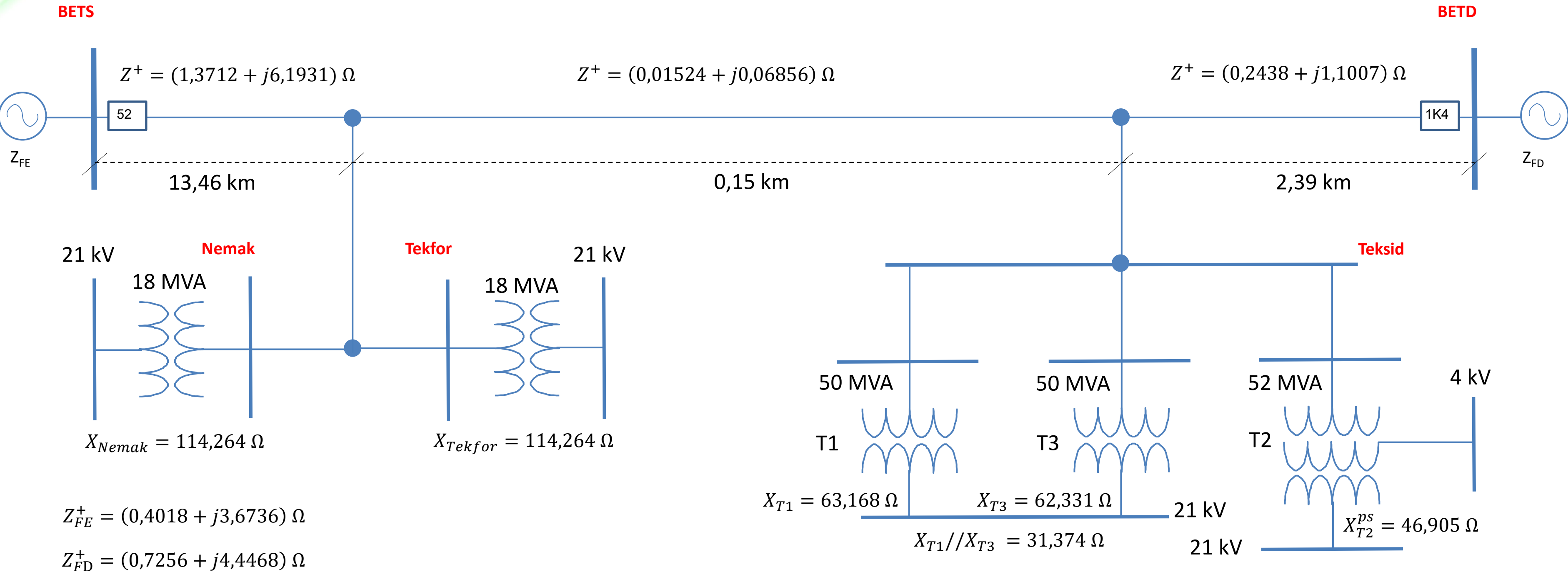


HostCompany:

CEMIG

LD 1 BETIM 2 – BETIM 6 138 KV COM CLIENTES

Dados em impedâncias



PICK-UP DA FUNÇÃO DIFERENCIAL DE LINHA

- A maior corrente diferencial para a qual a proteção 87L não deve operar ocorre em caso de falta na barra de 21 kV dos Trafos T1 e T3 do cliente Teksid.

$$I_{CC3\phi}^{m\acute{a}x} = 1,1 \times 2107 = 2318 \text{ A}$$

- A referência [1] sugere que se ajuste o pick-up da função 87L da seguinte forma:

$$I_{pickup}^{87L} = 1,3 \times I_{CC3\phi}^{m\acute{a}x} = 1,3 \times 2318 = 3013 \text{ A}$$

Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG

IMPEDÂNCIA E CORRENTE DE INRUSH [1]

- Pelo método sugerido na referência [1]:

- $$Z_{Inrush}^{[1]} = \frac{(V_{nom}/\sqrt{3})}{\sum I_{Inrush[1]}}$$

- Onde:

- $$\sum I_{Inrush[1]} = 5 \times \frac{\sum S_{trafos}}{\sqrt{3} \times V_{nom}}$$

- A referência [1] indica o seguinte cálculo para a corrente de inrush:

$$\sum I_{Inrush[1]} = 5 \times \frac{188 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 138 \times 10^3} = 5 \times 786,54 = \mathbf{3932,68 \text{ A}}$$

- Com esse valor se calcula a impedância de inrush:

$$Z_{Inrush}^{[1]} = \frac{(138 \times 10^3 / \sqrt{3})}{3932,68} = \mathbf{20,260 \Omega}$$

Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG

Classificação: Direcionado

IMPEDÂNCIA E CORRENTE DE INRUSH [2]

- Pelo método sugerido na referência [2]:

$$Z_{Total}^{[2]} = Z_S + Z_{Inrush}^{[2]}$$

- Onde:

$$Z_S = \frac{(V_{nom}/\sqrt{3})}{I_{CC3\phi}} \quad \text{e} \quad Z_{Inrush}^{[2]} = \frac{(V_{nom}/\sqrt{3})}{\sum I_{Inrush[2]}}$$

- Definindo a fonte mais forte:

$$Z_S^{BETS} = \frac{(138 \times 10^3 / \sqrt{3})}{20501} = 3,886 \, \Omega$$

$$Z_S^{BETD} = \frac{(138 \times 10^3 / \sqrt{3})}{16874} = 4,722 \, \Omega$$

- A impedância de *inrush* pelo método [2] é assim definida:

$$Z_{Inrush}^{[2]} = \frac{(V_{nom}/\sqrt{3})}{\sum I_{Inrush[2]}}$$

- Onde:

$$\sum I_{Inrush[2]} = 8 \times \sum I_{nom}^{trafos} = 8 \times \frac{188 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 138 \times 10^3} = 6292,28 \, A$$

- Então a impedância de *inrush* é:

$$Z_{Inrush}^{[2]} = \frac{(138 \times 10^3 / \sqrt{3})}{6292,28} = 12,662 \, \Omega$$

- Logo:

$$Z_{Total}^{[2]} = Z_S^{BETS} + Z_{Inrush}^{[2]} = 3,886 + 12,662 = \mathbf{16,549 \, \Omega}$$

$$Z_{Total}^{[2]} = Z_S^{BETD} + Z_{Inrush}^{[2]} = 4,722 + 12,662 = 17,384 \, \Omega$$

- Então as correntes de *inrush* reais são dadas por:

$$I_{Inrush_real}^{BETS} = \frac{(138 \times 10^3 / \sqrt{3})}{16,549} = \mathbf{4814,45 \, A}$$

$$I_{Inrush_real}^{BETD} = \frac{(138 \times 10^3 / \sqrt{3})}{17,384} = 4583,20 \, A$$

Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG

Classificação: Direcionado

COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS [1] E [2]

MÉTODOS	Z_{Inrush}	I_{Inrush}
[1] – SIEMENS	20,260 Ω	3932,68 A
[2] – O SETOR ELÉTRICO	16,549 Ω	4814,45 A

REFERÊNCIAS:

- [1] ZIEGLER, G. Numerical Differential Protection – Principles and Applications. Erlangen: Publicis Corporate Publishing, 2005.
- [2] MARDEGAN, C. Proteção dos transformadores – Parte I. O Setor Elétrico. São Paulo, p. 26-39, set., 2010.

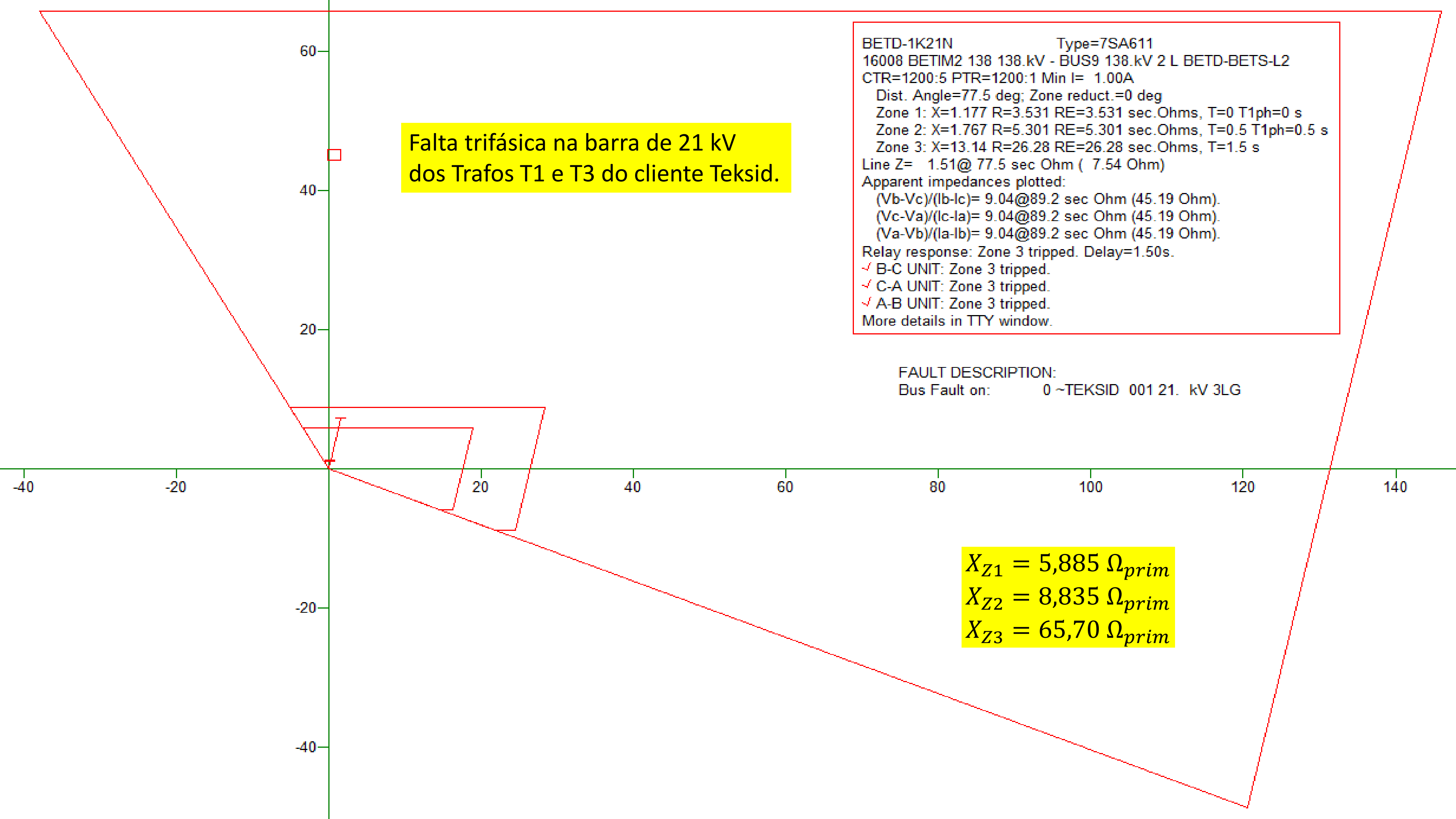
Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG

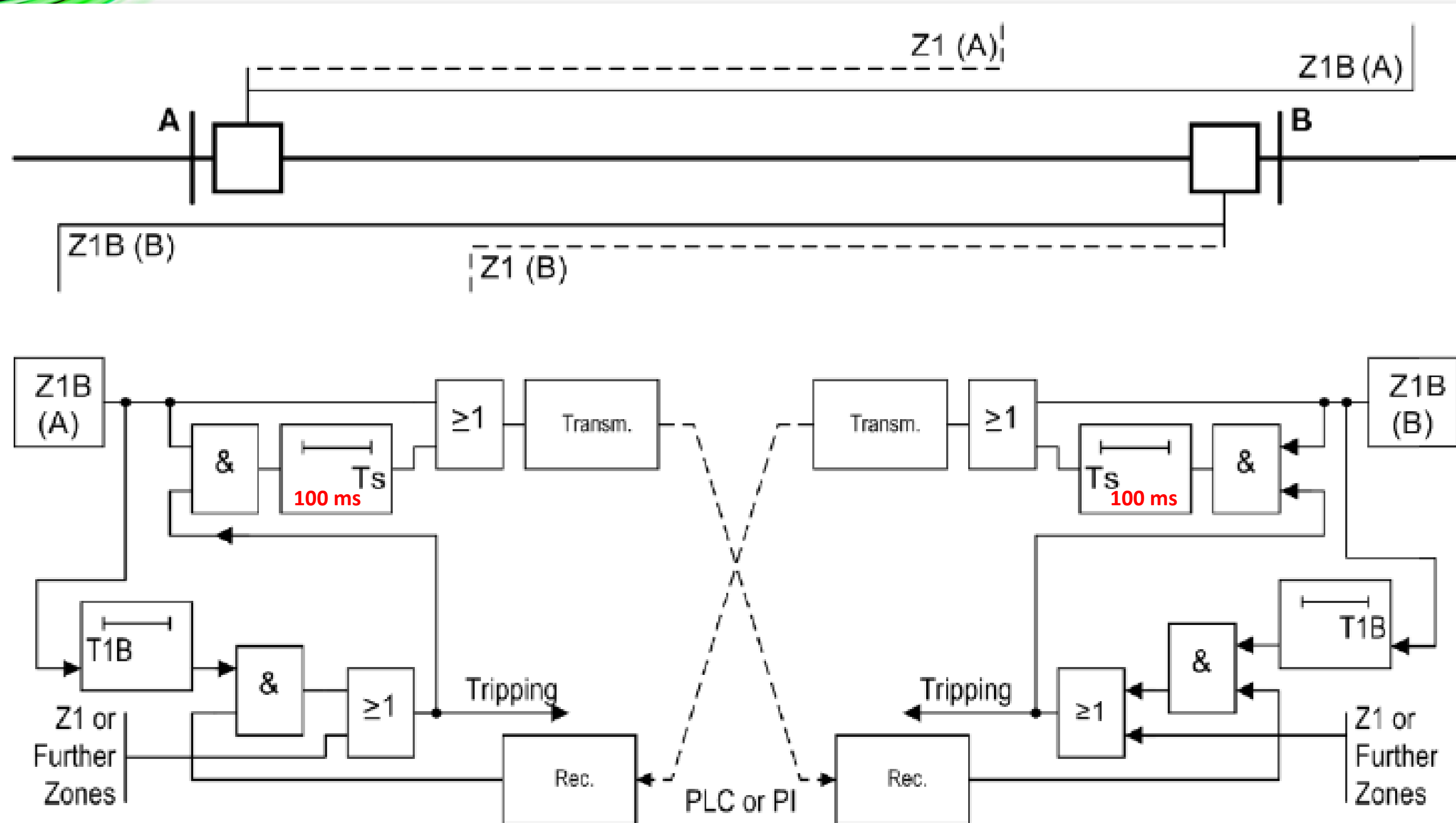


BETD-1K21N Type=7SA611
16008 BETIM2 138 138.kV - BUS9 138.kV 2 L BETD-BETS-L2
CTR=1200:5 PTR=1200:1 Min I= 1.00A
Dist. Angle=77.5 deg; Zone reduct.=0 deg
Zone 1: X=1.177 R=3.531 RE=3.531 sec.Ohms, T=0 T1ph=0 s
Zone 2: X=1.767 R=5.301 RE=5.301 sec.Ohms, T=0.5 T1ph=0.5 s
Zone 3: X=13.14 R=26.28 RE=26.28 sec.Ohms, T=1.5 s
Line Z= 1.51@ 77.5 sec Ohm (7.54 Ohm)
Apparent impedances plotted:
(Vb-Vc)/(Ib-Ic)= 9.04@89.2 sec Ohm (45.19 Ohm).
(Vc-Va)/(Ic-Ia)= 9.04@89.2 sec Ohm (45.19 Ohm).
(Va-Vb)/(Ia-Ib)= 9.04@89.2 sec Ohm (45.19 Ohm).
Relay response: Zone 3 tripped. Delay=1.50s.
✓ B-C UNIT: Zone 3 tripped.
✓ C-A UNIT: Zone 3 tripped.
✓ A-B UNIT: Zone 3 tripped.
More details in TTY window.

FAULT DESCRIPTION:
Bus Fault on: 0 ~TEKSID 001 21. kV 3LG

$$\begin{aligned} X_{Z1} &= 5,885 \, \Omega_{prim} \\ X_{Z2} &= 8,835 \, \Omega_{prim} \\ X_{Z3} &= 65,70 \, \Omega_{prim} \end{aligned}$$

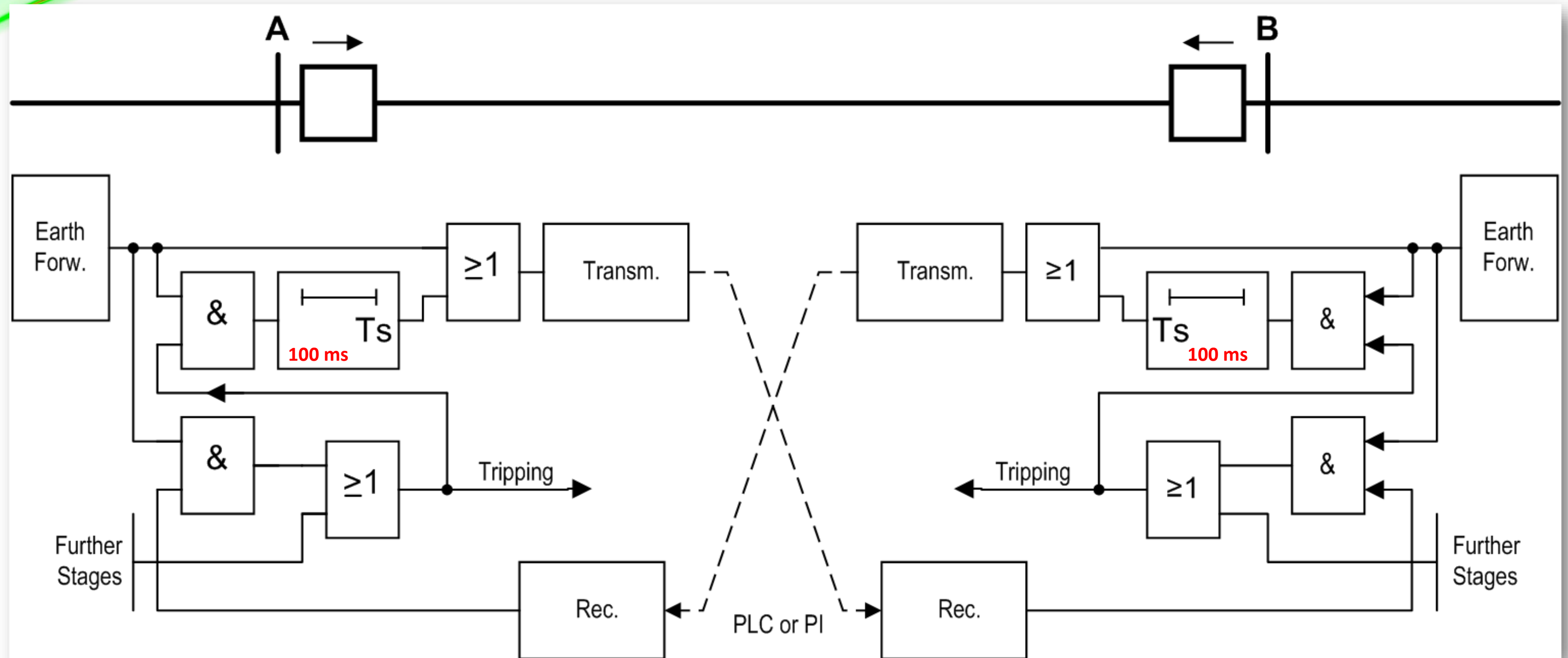
Esquema POTT (21/21N)



[funktionsschema-des-signalvergleichsverfahrens-wlk-290702, 1, en_GB]

Figure 2-71 Function diagram of the permissive overreach transfer trip method

COMPARAÇÃO DIR



RESULTADOS

1. Qual é o menor valor possível de ajustes do *pick-up* da unidade diferencial 87L?

Resposta: Algum valor superior a 3000 Aprim. Que é um valor alto, mas o curto-circuito também é muito alto nesta Linha.

2. A Zona 1 pode ser sensibilizada pela corrente de *inrush* dos trafos dos clientes conectados em tape linha?

Resposta: Não.

3. Alguma zona de distância pode ser sensibilizada em caso de faltas na planta interna dos clientes conectados em tape na linha?

Resposta: Sim, a zona 3 do terminal BETD-1K. Mas não é problema, pois ela é temporizada.

4. O que é possível fazer para aumentar a sensibilidade para faltas à terra com alta impedância?

Resposta: Utilização de um esquema de comparação direcional via 67N.

Realization:

instituto
abradee



Host Company:

CEMIG

BENEFÍCIOS E CONCLUSÕES

- A **Cemig Distribuição possui um legado** de diversas Linhas de Distribuição com cargas (grandes clientes) conectadas em derivação (*tape*) na Linha.
- Frente a atual ampliação do Sistema Elétrico com **cenário agressivo para os ciclos de PDD** (Plano de Desenvolvimento da Distribuição), nos casos existentes de Linhas de Distribuição que sofrerão obras em que é **necessário garantir proteção seletiva, confiável e rápida, o modelo** proposto de aplicação conjugada de Proteção Diferencial de Linha (87L) e Teleproteção (Esquema POTT 21/21N e Comparação Direcional 67N) **atende a estes requisitos satisfatoriamente**. Principalmente pela não viabilidade econômico-financeira e também operacional de se construir subestações de integração para grandes clientes já existentes no SEP fazendo a segregação destas LDs.
- Contribui para **redução do DEC e FEC**.
- Este modelo já foi testado em “bancada/laboratório” com todos os testes satisfatórios e tem previsão de **entrada em operação no final de 2024**.
- Busca-se **padronizar/consolidar esta metodologia** junto ao Planejamento de Expansão da Cemig D nos casos aplicáveis de Linhas Curtas com clientes conectados em tape.



OBRIGADO!

Alexandre Sales Braz
asbraz@cemig.com.br
Engenheiro de Proteção

Wallace Augusto Reis
wallace.reis@cemig.com.br
Engenheiro de Expansão